

# COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA



GOBIERNO  
FEDERAL

SENER

**CONUEE**  
COMISIÓN NACIONAL PARA EL  
USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

## Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal

Octubre 2011







# Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal



BMZ



Por encargo de:  
Ministerio Federal de  
Cooperación Económica  
y Desarrollo



México, D.F., Octubre de 2011

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Cooperación Alemana al Desarrollo) por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó en el marco del “Programa de Energía Sustentable en México” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de la CONUEE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras: CONUEE / GIZ.

“Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal”, México, D.F., Octubre de 2011.

Edición y Supervisión:

Adrián Ruiz, Ernesto Feilbogen, GIZ.

Marco Antonio Nieto Vázquez, María Elena Sierra, Blanca Ivonne Gómez Ortega y Aidana Velázquez Martínez, CONUEE.

Autores: Watergy México, A.C. (José Arturo Pedraza Martínez, Carlos Espino Godínez).

Diseño: CONUEE / GIZ México.

Fotos: Watergy México, A.C.

© Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

Río Lerma No. 302 Col. Cuauhtémoc

Delegación Cuauhtémoc

C.P. 06500, México D.F

Tel. 3000-1000

[www.conuee.gob.mx](http://www.conuee.gob.mx)

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5

65760 Eschborn/Alemania

[www.giz.de](http://www.giz.de)

Oficina de Representación de la GIZ en México

Torre Hemicor, PH

Av. Insurgentes Sur No. 826

Col. Del Valle, Del. Benito Juárez

C.P. 03100, México, D.F.

T +52 55 55 36 23 44

F +52 55 55 36 23 44

## Tabla de Contenido

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>xi</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Contexto y diagnóstico</b> .....	<b>2</b>
2.1 Descripción de los sistemas de bombeo de agua y saneamiento.....	2
2.1.1 Componentes del proceso de un sistema de agua y saneamiento .....	2
2.1.2 Índice de Consumo Energético (IE) de un sistema de bombeo .....	10
2.2 Diagnóstico del consumo energético de los sistemas de bombeo municipales .....	13
2.2.1 Fundamento legal para la provisión de agua a nivel municipal .....	13
2.2.2 Distribución de la población.....	13
2.2.3 Dotación (demanda nacional de agua) .....	15
2.2.4 Cobertura y producción de agua potable a nivel nacional para abastecimiento a poblaciones .....	17
2.2.5 Cuantificación de consumo de energía eléctrica.....	21
2.2.6 Cuantificación de consumos energéticos adicionales derivados.....	25
2.2.6.1 Energía eléctrica en bombeo de agua adicional, utilizada por el usuario final .....	25
2.2.6.2 Consumo energético de combustible en distribución de agua por medio de pipas .....	26
2.2.7 Consumo total de energía a nivel nacional .....	26
2.2.8 Índice Energético a nivel nacional .....	27
2.3 Identificación de programas institucionales existentes .....	31
2.3.1 Resumen de programas federales en materia de agua potable y saneamiento.....	31
2.3.2 Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores (PROME).....	32
2.3.3 Otros programas institucionales .....	36
<b>3 Identificación de áreas de oportunidad</b> .....	<b>39</b>
3.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo de agua municipal .....	39
3.1.1 Propuesta de caracterización .....	39
3.2 Cuantificación de potenciales de ahorro.....	45
3.2.1 Consideraciones base para el cálculo del potencial de ahorro .....	45
3.3 Problemática y barreras existentes .....	49
3.4 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad.....	50
3.5 Diagnóstico energético.....	52
3.6 Proyecto de Eficiencia Energética (PEE).....	65

3.7 Proyecto de Eficiencia Hidráulica (PEH).....	80
3.7.1 Especificaciones para equipos de bombeo.....	82
3.7.2 Metodología para la puesta en marcha de sectores hidráulicos .....	85
3.8 Proyecto de Eficiencia Energética Integral (PEEI).....	93
<b>Bibliografía .....</b>	<b>98</b>

### Lista de Tablas

Tabla 1. Tipo de cambio usado en el Estudio (1 de septiembre 2010).....	ix
Tabla 2. Etapas de la secuencia de operaciones de un sistema de agua potable y residual .....	3
Tabla 3. Impacto típico de las etapas en la operación sobre el consumo global de energía.....	4
Tabla 4. Consumo e Índice Energético (IE) en el Sistema de Agua Potable y Saneamiento de los Municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín .....	12
Tabla 5. Distribución de la población de acuerdo al tamaño de los municipios.....	14
Tabla 6. Consumo doméstico de agua potable recomendado por CONAGUA en l/hab/día.....	15
Tabla 7. Porcentaje de viviendas a nivel nacional por tipo de nivel socioeconómico .....	15
Tabla 8. Gasto medio demandado en lps, de acuerdo al tamaño del municipio a nivel nacional .....	15
Tabla 9. Cobertura de agua potable de acuerdo a viviendas con conexión a la red pública .....	17
Tabla 10. Producción de agua por entidad federativa.....	18
Tabla 11. Producción de agua potable por tamaño de municipio.....	20
Tabla 12. Datos de venta para usuarios en Tarifa 6 de acuerdo al SIE .....	21
Tabla 13. Consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa .....	22
Tabla 14. Consumo de energía eléctrica de acuerdo al tamaño de municipio .....	24
Tabla 15. Resumen de consumo total de energía a nivel nacional en sistemas de agua potable municipal .....	26
Tabla 16. Índice Energético promedio por tamaño de municipio a nivel nacional .....	28
Tabla 17. Índice Energético en una muestra de organismos operadores de acuerdo a la información recabada por el autor.....	29
Tabla 18. Resumen de programas federales en materia de agua potable y saneamiento municipal.....	31
Tabla 19. Esquema de financiamiento de estudios y asistencia técnica del PROME .....	34
Tabla 20. Calificación del sistema de agua potable en función de la profundidad de la captación .....	40
Tabla 21. Calificación del sistema de agua potable en función de la distancia a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento .....	40
Tabla 22. Calificación del sistema de agua potable en función de la distancia a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento .....	41

Tabla 23. Clasificación del tipo de sistema de bombeo de acuerdo a la evaluación del grado de dificultad de la carga dinámica .....	41
Tabla 24. Matriz de caracterización de los sistemas de bombeo de agua municipal .....	42
Tabla 25. Trabajo de bombeo promedio estimado (en kW) para los municipios contenidos según la matriz de caracterización propuesta .....	42
Tabla 26. Desglose del trabajo de bombeo promedio estimado por tamaño de municipio.....	42
Tabla 27. Caracterización del total de municipios (universo) .....	43
Tabla 28. Matriz de caracterización para una muestra de municipios.....	43
Tabla 29. Ejemplo de metodología para caracterización de una muestra de municipios .....	44
Tabla 30. Potencial de ahorro en la muestra de proyectos realizados por el autor .....	46
Tabla 31. Potencial de ahorro de energía en proyectos de eficiencia energética realizados por el consultor, de acuerdo con la caracterización previa .....	47
Tabla 32. Potencial de ahorro de energía en proyectos de eficiencia integral (energética e hidráulica), de acuerdo con la caracterización previa .....	47
Tabla 33. Potencial de ahorro en el proyecto realizado por el autor en Monclova, Coahuila .....	47
Tabla 34. Valores mínimos de eficiencia electromecánica con base en la NOM-006-ENER-1995.....	61
Tabla 35. Ejemplo de disgregación de pérdidas en un sistema de bombeo tipo.....	64
Tabla 36. Acciones recomendadas para mejorar las condiciones en un transformador.....	69
Tabla 37. Acciones recomendadas para corregir el desbalance de voltaje de alimentación a los motores eléctricos .....	70
Tabla 38. Acciones recomendadas para corregir condiciones de operación ineficiente de los motores eléctricos .....	71
Tabla 39. Acciones recomendadas para ajustar las curva del equipo de bombeo a la condición real de operación .....	72
Tabla 40. Formato de resumen de ahorros de energía derivados del proyecto integral.....	94

### **Lista de Figuras**

Figura 1. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento .....	8
Figura 2. Esquema general del balance de energía .....	9
Figura 3. Distribución de la población de acuerdo al número de habitantes del municipio.....	14
Figura 4. Porcentaje de gasto de demanda nacional de acuerdo a la población del municipio.....	16
Figura 5. Porcentaje de cobertura de servicio de agua potable de acuerdo al tamaño del municipio.....	17
Figura 6. Porcentaje de producción de agua potable por Entidad Federativa respecto a la producción total a nivel nacional .....	19

Figura 7. Porcentaje del gasto de producción de agua potable por tamaño de municipio.....	21
Figura 8. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa .....	23
Figura 9. Comparativo del porcentaje de producción de agua contra el porcentaje de consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa.....	24
Figura 10. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por tamaño de municipio .....	25
Figura 11. Porcentaje de consumo de energía a nivel nacional en sistemas de agua potable por factor de consumo .....	26
Figura 12. Índice Energético promedio por Entidad Federativa .....	27
Figura 13. Índice Energético en la muestra de proyectos elaborados por el autor .....	30
Figura 14. Porcentaje de ahorro potencial en algunos proyectos integrales .....	45
Figura 15. Consumo real de energía eléctrica en Monclova, Coahuila, en el periodo de implementación de medidas de eficiencia integral .....	48
Figura 16. Esquema general de la metodología propuesta de eficiencia energética integral .....	50
Figura 17. Herramientas tecnológicas para aplicar la metodología integral Watergy .....	51
Figura 18. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento .....	53
Figura 19. Componentes típicos de una subestación .....	54
Figura 20. Componentes típicos del sistema electromotriz de un sistema de bombeo .....	56
Figura 21. Flujo de energías en un motor eléctrico.....	57
Figura 22. Diagrama energético global de las bombas centrífugas .....	59
Figura 23. Diagrama esquemático de las eficiencias del sistema electromecánico .....	60
Figura 24. Problemas típicos de falta de mantenimiento en equipos de bombeo.....	63
Figura 25. Diagrama de una bomba de turbina de flecha de impulsor abierto y sus componentes .....	73
Figura 26. Diagrama de un motor flecha hueca acoplado a una bomba de turbina .....	73
Figura 27. Curvas típica de dos equipos de bombeo con curvas H-Q diferentes.....	74
Figura 28. Componentes de análisis para un proyecto de eficiencia hidráulica .....	81
Figura 29. Ejemplo de diagrama de flechas y ruta crítica .....	87
Figura 30. Trabajos de aislamiento de sectores .....	88
Figura 31. El apoyo entre sectores debe planearse a través de la entrega de agua en bloque.....	88
Figura 32. Uso de By-pass en la instalación de válvulas de control automático .....	90

### Listado de Abreviaturas

APAZU	Programa de Agua Potable Alcantarillado y saneamiento en Zonas Urbanas
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
CUE	Indicador de Costo Unitario de Energía
DEN	Diagnóstico Energético
D <sub>p</sub>	Dotación promedio por habitante
E <sub>c</sub>	Energía eléctrica consumida en el período de medición
EE	Energía Eléctrica
EEM	Eficiencia Electromecánica
Eff	Eficiencia
FP	Factor de Potencia
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana al Desarrollo)
H	Carga Total del equipo de bombeo
HP	Potencia nominal del motor en Caballos de Potencia
I	Corriente circulando en el conductor
IAA	Índice de agotamiento de acuíferos
IAD	Índice de Administración de Demanda
ICS	Indicador de continuidad en el servicio
IE	Índice de Consumo Energético
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

IRE	Índice de Reducción de Emisiones
kVA	Kilovolt Ampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hora
LASE	Ley Para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
m.c.a.	Metros de columna de Agua
NOM	Norma Oficial Mexicana
OO	Organismo Operador de los servicios de agua potable
$P_a$	Potencia Activa
PAL	Programa de Agua Limpia.
$P_e$	Potencia eléctrica demandada por el motor
PEE	Proyecto de Eficiencia Energética
PEEI	Proyecto de Eficiencia Energética Integral.
PEH	Proyecto de Eficiencia Hidráulica
$P_h$	Potencia hidráulica de salida
PRODER	Programa de Devolución de Derechos
PROMAGUA	Programa para la Modernización de organismos operadores de Agua
PROME	Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores
PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
PROSANEAR	Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales
PROSSAPYS	Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales
Q	Gasto o Flujo volumétrico de agua
R	Resistencia del conductor
SIE	Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía
SENER	Secretaría de Energía
SOPAPR	Secuencia de Operaciones del Agua Potable y Residual

$V$	Tensión eléctrica trifásica
$\gamma$	Peso específico del agua en $\text{kg/m}^3$
$\rho$	Densidad del fluido a bombear en $\text{N/m}^3$
$\eta_b$	Eficiencia de la bomba
$\eta_{em}$	Eficiencia electromecánica del conjunto motor – bomba
$\eta_m$	Eficiencia de operación del motor

**Tabla 1. Tipo de cambio usado en el Estudio (1 de septiembre 2010)**

1 MXN	=	0.0598 Euro	=	0.0759 US\$
1 Euro	=	1.2689 US\$	=	16.7089 \$ MXN
1 US\$	=	0.7881 Euro	=	13.1676 \$ MXN

Fuente: Banco de México



## Resumen ejecutivo

### Objetivos

Los objetivos específicos del presente trabajos son:

- Describir la situación actual de los sistemas de bombeo de agua en el sector municipal, caracterizando con detalle, como mínimo, los componentes que los integran, los aspectos tecnológicos, la eficiencia operativa y energética.
- Presentar oportunidades para aumentar la eficiencia de los sistemas de bombeo de agua, en el sector mencionado.

### Estructura del documento

Como parte fundamental del desarrollo de este estudio, se describe la caracterización de los tipos de sistemas de bombeo típicos en sistemas de suministro a las poblaciones. Esta caracterización se realiza basándose en la identificación detallada de todos los factores que influyen en el consumo energético de los sistemas de bombeo, entendiendo el sistema, desde la fuente de obtención del agua, hasta la entrega final de la misma a los usuarios finales, entre otros:

- Los componentes electromecánicos e hidráulicos de los sistemas de producción, distribución y tratamiento y sus características. Los factores de contexto que influyen el consumo energético de los sistemas de bombeo, como los tipos de fuentes disponibles del agua a bombear. En el caso de los bombeos municipales, las distancias desde donde se transporta el agua producida, las características topográficas de los asentamientos poblacionales hacia donde se suministra el agua, las características de desarrollo de las ciudades, son factores de contexto que influyen en el consumo.
- Cuantificación de los consumos energéticos nacionales de los sistemas de bombeo para uso municipal. Se dimensionó lo más aproximado posible, el consumo energético. Las fuentes de información utilizadas fueron las estadísticas oficiales de producción y consumo de agua suministrada a poblaciones, los rangos de índices energéticos típicos encontrados en los sistemas de abastecimiento de agua a ciudades y zonas agrícolas, los datos del parque nacional de sistemas de bombeo municipales y agrícolas disponibles, las estadísticas nacionales de consumo final de electricidad, entre otros.
- Identificación de las mejores prácticas y su aplicabilidad.

### Resultados claves

En el documento se analizan todos los elementos que componen las operaciones de un sistema típico de agua potable y saneamiento, encontrando que el sistema de bombeo representa hasta un 95 % del consumo de energía en estos sistemas.

De acuerdo al análisis del autor, se observó que las necesidades de energía y agua en los 2,436 sistemas municipales de agua, se encuentra que de los 281,919 litros por segundo (lps) que se requieren para el suministro total de agua potable en el país, solo el 8.86% del total nacional, equivalente a 66 municipios de más de 300,000 habitantes, requieren el 51.34% de la demanda nacional. Asimismo, de los 326,660 lps para suministro total en el país que se

producen, esos 66 municipios producen más el 50.68%. Esto tiene una consecuencia en materia de consumo energético resultando que, de los 3'771,508 MWh que se consumen a nivel nacional en sistemas de bombeo municipal, la distribución del consumo está muy polarizada como lo indican las siguientes cifras:

- 2 064 municipios, con poblaciones menores a 50,000 habitantes, consumen menos de 580,000 kWh/año promedio, y el 14.67% del total nacional.
- Los municipios mayores a 50 000 habitantes, que son solo 375 (el 16 % del total), consumen más del 80% de la energía.
- Si consideramos la complejidad y tamaño de los municipios, expresada como trabajo de bombeo, sólo 125 municipios con trabajo de bombeo arriba de 200 kW, consumen el 70 % de la energía total en el sector.

Estos consumos son sólo por concepto de los sistemas de bombeo de agua. Existen otros consumos energéticos adicionales, que son consecuencia de la operación de dichos sistemas y se utilizan en la distribución de agua en pipas y el uso de bombas domésticas en los usuarios domésticos y comerciales, en suma, estos consumos energéticos agregan 9% y 3% de consumo de energía adicional.

Con base en las experiencias de Watergy México, aplicando la metodología integral que permite ahorrar más energía que las convencionales, se pueden lograr ahorros de hasta el 27 % globales en los sistemas de agua y saneamiento, de los cuales, el 15% es por las medidas convencionales, entre las que se encuentran:

- Optimizar las tarifas de suministro.
- Reducir pérdidas en las instalaciones eléctricas.
- Optimizar el Factor de Potencia.
- Mejorar la eficiencia de motores y bombas y/o sustituirlos.
- Reducir pérdidas de carga en succión y descarga de sistemas de bombeo.
- Mejorar la operación aprovechando la infraestructura existente.
- Reducción de Pérdidas Mecánicas optimizando practicas de Mantenimiento.

Y un 12% adicional, por medidas resultantes de la optimización de la operación hidráulica como:

- Reducir el flujo de agua al mínimo en consecuencia la demanda eléctrica.
- Optimizar el número de equipos de bombeo al mínimo estrictamente necesario.
- Reducir la carga de bombeo optimizando los esquemas de distribución.

Los proyectos integrales presentan también otros beneficios como la preservación de acuíferos, la mejora del servicio a la población, y una mayor recaudación financiera para los organismos.

## 1 Introducción

El 28 de Noviembre del 2008, se publica la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Esta Ley tiene como objetivo, propiciar un aprovechamiento sustentable de la energía, y faculta a la Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE, a elaborar el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE). Dicho documento, a su vez publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de noviembre de 2009, define una estrategia integral para capturar el potencial de ahorro de energía a través de acciones costo-efectivas de mediano y largo plazos.

Las principales áreas de oportunidad, contempladas en el PRONASE son:

- Iluminación.
- Transporte.
- Equipos del hogar.
- Cogeneración.
- Edificaciones.
- Motores industriales.
- Bombas de agua.

Dado que una de las áreas prioritarias es el bombeo de agua, se estableció el objetivo de incrementar la eficiencia de los sistemas de bombeo de agua a través de dos líneas de acción: *“Fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario”* y *“Establecer un programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo municipal”*. Con dichas líneas de acción se espera obtener un abatimiento de hasta 0.2 TWh entre 2010 y 2012; y de 22 TWh acumulado hasta el 2030.

Con base en esto, la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo) contrató los servicios de Watergy México A.C, para realizar una consultoría para la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE, y de esta manera conocer los sistemas de bombeo municipal.

## **2 Contexto y diagnóstico**

### **2.1 Descripción de los sistemas de bombeo de agua y saneamiento**

Esta sección describe los componentes y tecnologías de los sistemas de bombeo de agua municipal, así como diversos factores que definen el contexto de su operación.

#### **2.1.1 Componentes del proceso de un sistema de agua y saneamiento**

Para explicar integralmente el papel que la energía juega en el sector agua, es necesario tener clara la Secuencia de Operaciones del Agua Potable y Residual (SOPAPR), que es el conjunto de operaciones para producir, procesar y distribuir el agua potable así como las operaciones necesarias para la recolección y tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2-1 siguiente describe estas etapas, así como los principales energéticos utilizados en cada una de ellas.

**Tabla 2. Etapas de la secuencia de operaciones de un sistema de agua potable y residual**

ETAPA	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	SISTEMAS ELECTROMOTRICES UTILIZADOS	ENERGÉTICO UTILIZADO
<b>CAPTACIÓN</b>	Extracción de Pozo profundo	Sistemas de bombeo de pozo profundo sumergibles o de turbina de flecha.	Electricidad
	Captación de fuente superficial	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales.	Electricidad
<b>ACONDICIONAMIENTO</b>	Desinfección	Bombas de dosificación tipo pistón.	Electricidad
	Potabilización	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos.	Electricidad
<b>CONDUCCIÓN</b>	Envío del agua potable a la red de distribución	Sistemas de bombeo de pozo profundo sumergibles, de turbina de flecha, centrífugos horizontales o verticales	Electricidad
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	Almacenamiento	No aplica	
	Rebombeo	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	Electricidad
	Transporte por pipas	Motores de combustión interna	Diesel
<b>SANEAMIENTO Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL</b>	Captación de Aguas Residuales y pluviales	No aplica	
	Almacenamiento de aguas residuales y/o pluviales	No aplica	
	Conducción de Aguas Negras y/o pluviales	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	Electricidad
	Tratamiento y disposición de aguas residuales	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos.	Electricidad
<b>OTRAS OPERACIONES</b>	Telemetría y Control	Sistemas de iluminación, equipos electrónicos y en algunos casos sistemas de aire acondicionado.	Electricidad
	Operaciones adicionales y administrativas		Electricidad

Fuente: Elaboración del autor.<sup>1</sup>

La Tabla 2 describe estas etapas, así como los principales energéticos utilizados en cada una de ellas. El consumo de energía eléctrica está presente en la mayoría de operaciones que un Organismo Operador de agua potable realiza para extraer, acondicionar y conducir el agua potable hasta los usuarios finales así como el tratamiento del agua residual. Aunque la energía eléctrica es la mayoritaria en el consumo y costo energético de estos sistemas, existe un consumo de combustible en el transporte de agua en pipas que es provocado por ineficiencias en el sistema de distribución. Asimismo, aunque se utilizan otros sistemas electromotrices en actividades de tratamiento y edificios administrativos, los sistemas de bombeo se utilizan en prácticamente todas las etapas.

Dependiendo de diversos factores, cada etapa impacta de manera relativa sobre el consumo energético en un sistema de agua de manera diferente. Una descripción de las características de cada operación, el impacto relativo típico basado en rangos y algunos de los factores que influyen en dicho consumo, se presentan en la Tabla 3.

<sup>1</sup> La información, diagramas e ilustraciones presentadas son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de CONUEE y/o la GIZ.

**Tabla 3. Impacto típico de las etapas en la operación sobre el consumo global de energía**

ETAPA	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN BÁSICA	IMPACTO TÍPICO SOBRE EL CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA (%)	OBSERVACIONES IMPORTANTES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO
<b>CAPTACIÓN</b>	Extracción de Pozo profundo	Extraer el agua a la superficie bombeando el agua cruda desde el nivel dinámico de un pozo profundo	30-60	El costo energético depende de la profundidad del pozo. Los niveles de abatimiento anual de una fuente sobreexplotada afectan sustancialmente este costo
	Captación de fuente superficial	Captar el agua cruda de una toma de río, manantial u otra fuente superficial y bombearla a la planta potabilizadora	0-10	Este costo es relativamente menor que la extracción de pozo profundo. Los índices energéticos de estas captaciones, en (kWh/m <sup>3</sup> ) son significativamente menores que en el caso de extracción de pozo profundo
<b>ACONDICIONAMIENTO</b>	Desinfección	Implica la dosificación de cloro o algún otro proceso como la ozonación para lograr los niveles de desinfección requeridos por las Normas Locales	1-2	Esta operación generalmente y el consumo energético de la dosificación generalmente está cuantificado en la potabilización o en el bombeo de la extracción de agua de los pozos profundos
	Potabilización	Implica el procesamiento del agua cruda en una Planta de tratamiento primario o secundario	5-10	Generalmente está ligada a las obras de toma de fuentes superficiales que pueden contener un nivel significativo de contaminación orgánica y otro tipo de contaminantes
<b>CONDUCCIÓN</b>	Envío del agua potable a la red de distribución	Bombeo del agua potable de las plantas potabilizadoras a tanques de regularización o directamente a la red	0 - 40	En algunos casos particulares esta operación se realiza por gravedad lo que implica nulo consumo energético. En casos donde predominan las fuentes superficiales puede ser muy alto su impacto sobre el consumo global , mayoritariamente a base de sistemas de bombeo
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	Almacenamiento	Implica la operación y el mantenimiento de los tanques y cárcamos de almacenamiento incluidos en el Sistema	NA	La magnitud del consumo energético en esta operación depende de las características topográficas de la ciudad, del diseño original de la red y de la planeación para crecimientos a futuro. En

ETAPA	NOMBRE DE LA OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN BÁSICA	IMPACTO TÍPICO SOBRE EL CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA (%)	OBSERVACIONES IMPORTANTES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO
	Rebombeo	Bombeo a zonas de mayor altura desde los tanques de regularización, cárcamos de almacenamiento o directamente de la red	5-35	ciudades muy planas prácticamente no impacta
<b>SANEAMIENTO Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL</b>	Captación de Aguas Residuales y pluviales	Mantenimiento y operación del sistema de alcantarillado y recolección de aguas servidas	NA	Generalmente esta captación se realiza descargando por gravedad hacia los cárcamos de bombeo
	Almacenamiento de aguas residuales y/o pluviales	Mantenimiento y operación de los cárcamos de bombeo de agua residual		
	Conducción de Aguas Negras y/o pluviales	Bombeo de las aguas residuales desde los cárcamos hasta las plantas de tratamiento o cuerpos de agua	5- 25	El consumo energético depende de la cobertura de recolección y de la altura de bombeo de las plantas de tratamiento pero generalmente es más bajo que la conducción del agua potable
	Tratamiento y disposición de aguas residuales	Procesos de tratamiento de aguas residuales para cumplir las normas oficiales locales	0 – 15	El nivel de consumo energético de esta operación depende de los niveles de cobertura de tratamiento, de la cantidad y tipo de contaminantes y la tecnología aplicada para el tratamiento
<b>OTRAS OPERACIONES</b>	Telemetría y Control		2-3	Los niveles de automatización del sistema, si son bien aplicados, contribuyen a reducir los costos energéticos. Los niveles de consumo propios son poco significativos
	Operaciones adicionales	Incluyen el resto de las actividades de orden administrativo, comunicación social, etc.		Los consumos energéticos se refieren a Iluminación y en zonas de clima cálido a sistemas de aire acondicionado en oficinas y cuartos de control

Fuente: Elaboración del autor.<sup>1</sup>

Cabe mencionar que estos datos sólo son indicativos y aunque aplican a la mayoría de los sistemas de agua, pueden existir excepciones donde ciertas condiciones particulares arrojen otros perfiles. Como se puede deducir de la tabla anterior, las operaciones que se realizan basadas en el uso de sistemas de bombeo, impactan en un 95 % del consumo energético de un sistema de agua potable y saneamiento, por ello es importante entender los principales factores y variables que afectan la energía que estos sistemas consumen.

La potencia que los sistemas de bombeo requieren está dada por la expresión siguiente:

$$P_e = \frac{Q \times H \times \rho}{\eta_e}$$

Donde:

$P_e$  = Potencia Requerida por el Equipo de bombeo en W.

$Q$  = Gasto suministrado por el equipo en  $m^3/s$ .

$H$  = Carga Total del equipo de bombeo en m.

$\rho$  = Densidad del fluido a bombear en  $N/m^3$ , para el agua el valor será de = 9.81.

$\eta_e$  = Eficiencia Electromecánica del equipo de bombeo.

Las 3 principales variables que influyen en la potencia de los equipos de acuerdo a la relación descrita y los factores que las afectan son:

### Factores que afectan la carga total ( $H$ )

Su expresión matemática es:

$$H = Pm + ND + h_{fr} + h_v$$

Donde:

$H$  = Carga total de bombeo en  $m_{ca}$  (columna de agua).

$Pm$  = Presión en la descarga dada en  $m_{ca}$  que refleja las perdidas por fricción en las tuberías de descarga y la magnitud de la altura topográfica a donde se debe bombear el agua durante la operación.

$ND$  = Nivel dinámico, que refleja el nivel de succión desde donde el agua debe ser bombeada en m.

$h_{fr}$  = Pérdidas por fricción en la columna de succión.

$h_v$  = Carga de velocidad que refleja el efecto de la velocidad del agua en la tuberías definida por la relación:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

$v$  = Velocidad del agua dentro de la tubería.

Para esta variable, los principales factores de contexto que influyen son:

1. Tipo de fuentes que predominan en su sistema. Mezcla de fuentes Superficiales y Subterráneas.
2. Profundidades predominantes en fuentes subterráneas. Desde que profundidad se bombea, la gravedad del abatimiento de acuíferos.

3. Calidad del mantenimiento del pozo.
4. Densidad de población en cotas altas. Una ciudad plana requiere menos rebombes en otras el rebombeo puede competir con la extracción.
5. Características de la red de distribución. Antigüedad de tuberías (Incrustación), diseño inadecuado. Caídas de presión excesivas, contrapresiones, falta de equipos de regulación de presión. Tanques, válvulas, variadores de velocidad y la falta de sectorización en la red.

### **Factores que afectan la cantidad de agua bombeada (Q)**

A través de esta variable, se expresa de manera fehaciente la intrínseca relación entre el agua manejada y la energía utilizada para su fin.

Los principales factores que afectan esta variable son los siguientes:

1. Tamaño de población a la que se suministra. También influye el tipo de población predominante, si es de tipo residencial, comercial e industrial y su peso específico sobre la población total.
2. Clima donde se encuentre la población. En general, en climas cálidos la dotación necesaria por habitante tiende a ser mayor.
3. Nivel de pérdidas de agua. A menores niveles de pérdidas mayor caudal bombeado y por ende mayor consumo energético. Cada litro de agua que pasa a través del sistema representa un costo importante de energía. Las pérdidas de agua en forma de fugas, robo y desperdicio de los consumidores, y un suministro deficiente, afectan directamente la cantidad de energía consumida para el suministro de agua. Por lo general, el desperdicio de agua conduce a un desperdicio de energía. Cuando el agua se desperdicia en un sistema, también se desperdicia la energía.
4. Número de Horas de Operación de los sistemas de bombeo. El caudal anual que se bombea y la energía que se consume, son directamente proporcionales a la cantidad de horas que se bombea. Esto tiene una relación estrecha, además de los niveles de fugas, con el nivel de continuidad del servicio, expresada en horas de suministro efectivas promedio a los usuarios. En general a mayor número de horas de servicio mayor consumo energético.
5. Eficiencia en la operación hidráulica y control de presiones. Existen mucho potencial de eficiencia en la operación de los sistemas, entre ellos la distribución de caudales y presiones provocado por las válvulas que realizan los operadores de los sistemas de agua, el cual obedece al crecimiento de la población y a la falta de herramientas técnicas para la toma de decisiones en la incorporación de nuevas colonias a la red de distribución de agua. Esta situación puede generar que el servicio se vuelva discontinuo o "tandeado", afectando a los usuarios en un abastecimiento desconfiable y de poca calidad, con el consecuente desgaste operativo y estructural del sistema hidráulico, y costos energéticos. En México, la *Alliance to Save Energy* ha estimado que la continuidad del servicio de agua a los usuarios es del orden de 10 horas por día, aunque hay algunas ciudades que reportan servicio de 24 horas, no obstante la mayoría de ellos no tienen este nivel.

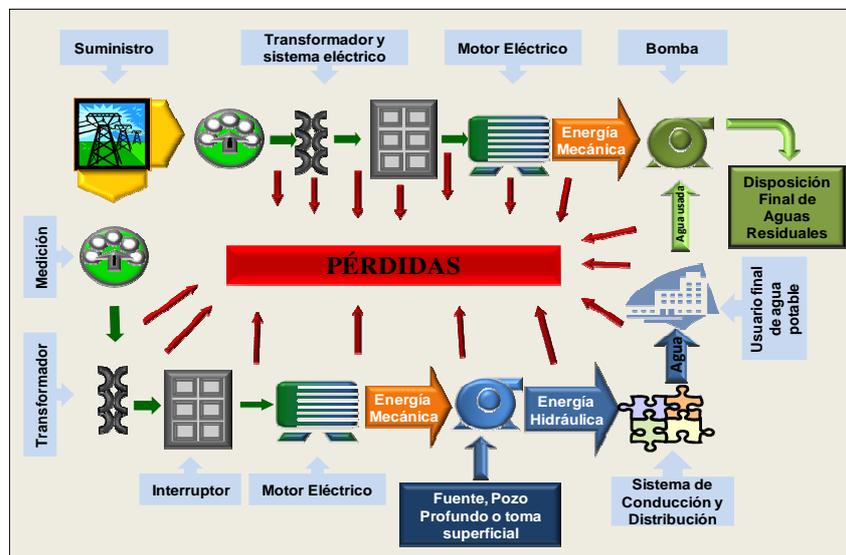
6. Niveles de automatización (y uso de la misma). Ausencia de sistemas de automatización (Sistemas SCADA y Telemetría), control manual inadecuado de la operación e inclusive subutilización para fines de eficiencia de sistemas de automatización ya instalados.
7. Niveles de cobertura. Agua Potable, recolección y tratamiento de aguas residuales, En general a mayor cobertura de tratamiento de aguas mayor consumo energético y puede optimizarse con programas de reúso de agua tratada.

### Factores que afectan la Eficiencia Electromecánica ( $\eta_e$ ) y las pérdidas de energía en la transformación energética

Para analizar los principales factores que afectan esta variable e incrementan las perdidas en el sistema, es necesario entender la Secuencia Energética (SE), es decir, el conjunto de etapas desde el suministro de energía al sistema de agua potable y saneamiento, así como los procesos de transformación para convertirla en energía útil.

En el caso de los sistemas de agua y saneamiento, los principales elementos para el suministro y transformación energética, necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua, se muestran esquemáticamente en la Figura 1, en la cual se puede ver la secuencia de equipos desde el medidor de consumo del suministrador de energía, pasando por el transformador, el centro de control del motor y sus elementos correspondientes, el motor eléctrico, la bomba y la disposición final del agua potable y residual.

Figura 1. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento



Fuente: Elaboración del autor.<sup>1</sup>

En cada etapa de la cadena energética, se aprovecha parte de la energía y otra parte se pierde, desde la entrada de energía en la acometida del suministrador, pasando por todos los

elementos del sistema, hasta la entrega de agua al punto de uso convertida en trabajo útil en forma de agua entregada al usuario final.

El proceso de auditoría energética que se plantea en este documento, consiste en determinar las pérdidas en cada etapa de la cadena, y qué tanta de la energía suministrada se convierte en trabajo útil, que es el mínimo trabajo para bombear el agua estrictamente necesaria, hasta todos los puntos del sistema de distribución. A este proceso se le conoce como determinación del Balance de Energía. A continuación se presenta un diagrama simple del balance de energía:

Figura 2. Esquema general del balance de energía



Fuente: Elaboración del autor.<sup>1</sup>

La energía que no se convierte en trabajo útil, representa pérdida de la misma y por ende áreas de oportunidad de ahorro. Esta técnica permite identificar y cuantificar en donde están las mayores pérdidas, de cuanto son y cuanto de esas se pueden ahorrar, sin dejar ninguna parte del sistema sin evaluar.

Los factores principales que afectan las pérdidas en cada secuencia de esta cadena son:

- Calidad de la Energía (instalación eléctrica inadecuada). Bajo factor de potencia, pérdidas por sobrecalentamientos (efecto joule), conductores y alimentadores subdimensionados, falsos contactos y sobrecapacidad de subestaciones.
- Niveles de Eficiencia de los equipos de bombeo.
- Niveles de eficiencia de los motores asociados a los sistemas de bombeo (falta de uso de motores alta eficiencia).

El consumo de energía de los sistemas de bombeo esta dado por la potencia demandada promedio durante las horas de operación, y se calcula en base a la siguiente expresión.

$$C_{eb} = \frac{P_g \times t}{1000}$$

Donde

$C_{eb}$  = Consumo de Energía del equipo de bombeo kWh.

$t$  = Tiempo de operación en horas al año (h/año).

$P_e$  = Potencia promedio usada durante el tiempo requerido por el Equipo en W.

El consumo de energía total del sistema de agua y saneamiento es la suma del consumo de energía en los sistemas de bombeo, mas el consumo en el resto de los componentes incluyendo la energía perdida de acuerdo al concepto del balance de energía descrito anteriormente y se calcula con la siguiente ecuación.

$$C_{es} = C_{eb} + C_{ers}$$

Donde

$C_{es}$  = Consumo de Energía en todo el sistema de bombeo kWh.

$C_{eb}$  = Consumo de Energía del equipo de bombeo kWh.

$C_{ers}$  = Consumo de Energía en el resto de los componentes del sistema kWh.

### 2.1.2 Índice de Consumo Energético (IE) de un sistema de bombeo

El indicador más importante para relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua producida es el Índice Específico de Consumo Energético o IE. Este indicador, expresado en (kWh/m<sup>3</sup>) representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población, así como el tratamiento después de su uso y la disposición final.

El IE se calcula dividiendo el total de la energía consumida por todos los equipos que integran el sistema, en kilowatts – hora en un determinado año, entre el total del agua producida en las captaciones del sistema de abastecimiento en el mismo periodo de tiempo.

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida por los equipos} \left( \frac{kWh}{\text{año}} \right)}{\text{Volúmen total producido en captaciones} \left( \frac{m^3}{\text{año}} \right)}$$

El volumen de agua producido es expresado en metros cúbicos al año. La energía utilizada se determina a partir de los datos del historial de consumos de energía eléctrica presentada en los recibos de la compañía de electricidad local en la misma base de tiempo. Se sugiere considerar un año para reflejar las variaciones estacionales que se dan en todas las ciudades.

Aunque es conveniente calcular el índice en función del agua producida, cada una de las etapas descritas en la Tabla 4, tiene una aportación a dicho índice dependiendo de las condiciones particulares de cada sistema.

Con base en estos conceptos se puede realizar la caracterización de los sistemas de bombeo para producción y distribución de agua potable, como se explica en la siguiente sección.

Por ejemplo en el sistema, cuya zona de influencia es de 628,000 habitantes, de acuerdo a datos del INEGI, administra el agua y Saneamiento en los Municipios de Veracruz, Boca del Río

y Medellín en el estado de Veracruz. Sus principales fuentes de abastecimiento incluyen una gran fuente superficial que es el Río Jamapa que abastece el 62 % del total del agua producida, el resto es producido en 40 pozos profundos distribuidos a lo largo del sistema. Su producción total promedio oscila entre 4'450,234 y 4'744,589 m<sup>3</sup> mensuales dependiendo la época.

El consumo energético global asciende a 3'659,799 kWh mensuales, distribuido de la siguiente forma:

- 81.1% (2'071,820 kWh/mes) en la Producción (Captación en Fuentes de Abastecimiento y Acondicionamiento) y Conducción de Agua Potable.
- 17.3 % (633,819 kWh/mes) en el Tratamiento de aguas Residuales.
- y el 1.6% (59,160 kWh/mes) en oficinas.

Dentro del consumo energético de las fuentes de abastecimiento o producción de agua potable se incluyen las fuentes superficiales (plantas potabilizadoras y cárcamos) en las que se consume 49% de la energía dedicada en este rubro, y las fuentes subterráneas (pozos profundos y plantas de rebombeo) con el 51% del consumo energético dedicado a la producción. Con base en estos conceptos se puede realizar la caracterización de los sistemas de bombeo para producción y distribución de agua potable, como se explica en la siguiente sección.

**Tabla 4. Consumo e Índice Energético (IE) en el Sistema de Agua Potable y Saneamiento de los Municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín**

<b>Etapa</b>	<b>Nombre de la operación</b>	<b>Consumo energético (kWh/mes)</b>	<b>IE (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Impacto en el consumo energético global %</b>	<b>Observaciones</b>
<b>CAPTACIÓN</b>	Extracción de pozo profundo	1'505,010	0.1957	41.1	Los pozos abastecen el 38% y consumen el 50% de la energía
	Captación de fuente superficial	263,125.8	0.0342	7.2	Una gran fuente superficial del Río Jamapa abastece el 62% del agua y está integrada la captación, la potabilización y el envío del agua a tanques principales y parte a la red de distribución.
<b>ACONDICIONAMIENTO</b>	Desinfección y Potabilización	204,653.4	0.0266	5.6	
<b>CONDUCCIÓN</b>	Envío del agua potable a la red de distribución	994,030.8	0.1292	27.2	
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	Almacenamiento y rebombeo	-	-	-	La ciudad es plana y prácticamente no tiene rebombes
<b>SANEAMIENTO Y MANEJO DE AGUA PLUVIAL</b>	Captación de aguas residuales y pluviales. Almacenamiento de aguas residuales y/o pluviales	-	-	-	-
	Conducción de aguas negras y/o pluviales	407,925	0.0530	11.1	La cobertura de alcantarillado es del 75%
	Tratamiento y disposición de aguas residuales	225,894	0.0294	6.2	La cobertura del tratamiento es solo del 8.3%
<b>OTRAS OPERACIONES</b>	Telemetría y control	-	-	-	Está implícito en gastos de oficina
	Operaciones adicionales	59,160	0.0077	1.6	
<b>TOTALES</b>		<b>3'659,799</b>	<b>0.476</b>	<b>100</b>	

Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> La información, diagramas e ilustraciones presentadas son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de CONUEE y/o la GIZ.

## **2.2 Diagnóstico del consumo energético de los sistemas de bombeo municipales**

### **2.2.1 Fundamento legal para la provisión de agua a nivel municipal**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el Artículo 115, fracc. III inciso a) establece que: *“Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales”*.

Asimismo, el mismo Artículo en su penúltimo párrafo establece que: *“Los Municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan. En este caso y tratándose de la asociación de municipios de dos o más Estados, deberán contar con la aprobación de las legislaturas de los Estados respectivas. Así mismo cuando a juicio del ayuntamiento respectivo sea necesario, podrán celebrar convenios con el Estado para que éste, de manera directa o a través del organismo correspondiente, se haga cargo en forma temporal de algunos de ellos, o bien se presten o ejerzan coordinadamente por el Estado y el propio municipio.”*

De esta manera, la entrega del agua potable a la población para su uso como servicio público es una responsabilidad a nivel Municipal y habilita la posibilidad de que la prestación de dicho servicio, se realice también a través de Organismos Operadores de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento, que pueden ser descentralizados del municipio, paraestatales o dependientes de la autoridad municipal.

Es por esto que en la caracterización de los sistemas de bombeo de agua potable se tomará en cuenta las cifras y estadísticas a nivel municipal. De esta manera se podrá hacer un diagnóstico global de la situación actual del consumo energético de los sistemas de bombeo de agua potable y el manejo general de energía necesario para brindar el servicio público de agua potable a la población, y hacer una extrapolación a nivel nacional.

### **2.2.2 Distribución de la población**

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2005, y a la proyección estimada por CONAPO, se pueden realizar un agrupamiento de estos municipios de acuerdo a la población. De esta manera, la población total proyectada para 2010, de acuerdo a índices de CONAPO es de 114'339,737 habitantes, de los cuales solo el 9.99% se encuentran en 1,599 municipios con una población promedio de 7,142 habitantes, mientras que casi el 50% de la población se encuentra confinada en solo 66 municipios de más de 300,000 habitantes.

Se puede observar que en el 65.56% de los municipios se encuentra solo el 10% de la población del país, siendo estos municipios donde existen una gran cantidad de localidades de tipo rural, mientras que los municipios con poblaciones mayores a 50,000 habitantes albergan casi el 70% de la población, siendo principalmente municipios con localidades de tipo urbano. A mayor concentración de población a nivel municipal, mayor será la demanda para el abastecimiento de agua a la población, según se demuestra a continuación. En la Tabla 5 se presentan los detalles de estas estadísticas.

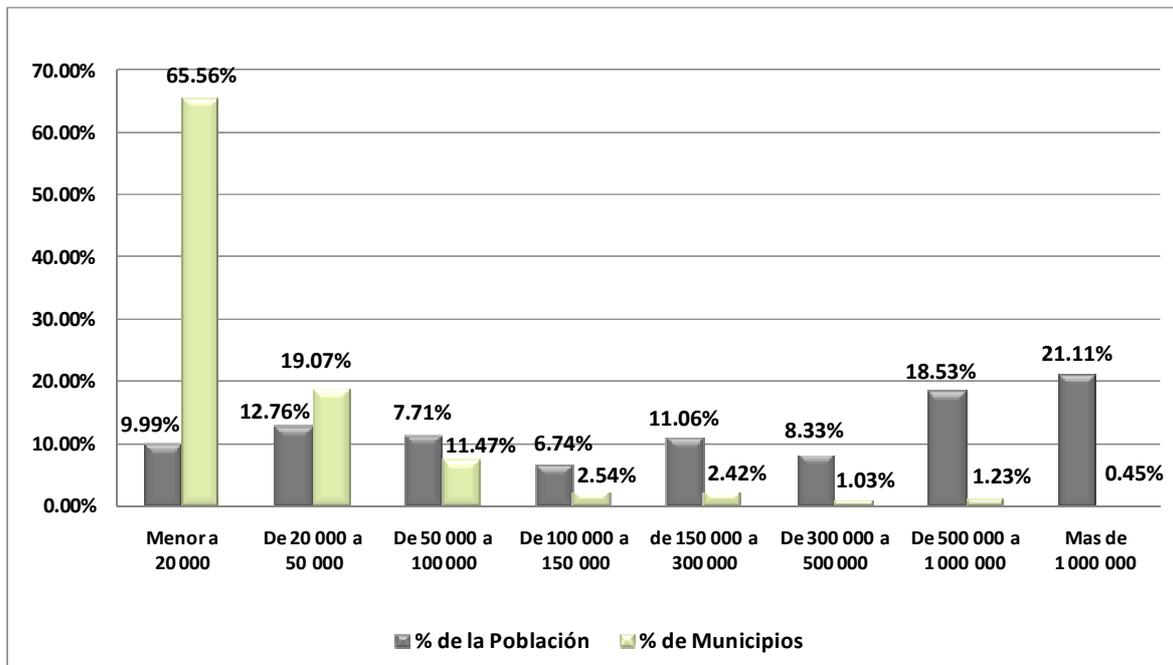
**Tabla 5. Distribución de la población de acuerdo al tamaño de los municipios**

Tamaño del Municipio (población)	Número de Municipios	Población Proyectada a 2010 (habitantes)	% de la Población	% de Municipios	Población Promedio por Municipio (habitantes)
Menor a 20 000	1,599	11,419,795	9.99%	65.56%	7,142
De 20 000 a 50 000	465	14,590,719	12.76%	19.07%	31,378
De 50 000 a 100 000	188	13,114,540	11.47%	7.71%	69,758
De 100 000 a 150 000	62	7,710,607	6.74%	2.54%	124,365
de 150 000 a 300 000	59	12,651,081	11.06%	2.42%	214,425
De 300 000 a 500 000	25	9,529,466	8.33%	1.03%	381,179
De 500 000 a 1 000 000	30	21,191,546	18.53%	1.23%	706,385
Más de 1 000 000	11	24,131,983	21.11%	0.45%	2,193,817
<b>TOTAL</b>	<b>2,439</b>	<b>114,339,737</b>			

Fuente: Elaboración a partir de información del Censo de Población y Vivienda (2005) y CONAPO.

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de población que representa el agrupamiento con respecto al porcentaje de municipios que la contienen.

**Figura 3. Distribución de la población de acuerdo al número de habitantes del municipio**



Fuente: Elaboración del autor con datos de CONAPO.<sup>2</sup>

### 2.2.3 Dotación (demanda nacional de agua)

La CONAGUA establece en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, que el consumo doméstico de agua tiene relación directa con el nivel socioeconómico de la vivienda y el clima de la región. De esta manera, recomienda los valores para el consumo de agua potable de uso doméstico mostrados en las siguientes tablas.

**Tabla 6. Consumo doméstico de agua potable recomendado por CONAGUA en l/hab/día**

Clima	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

Fuente: Estadísticas de Agua en México, CONAGUA.

**Tabla 7. Porcentaje de viviendas a nivel nacional por tipo de nivel socioeconómico**

Tipo de Vivienda	%
Popular	75
Media	22
Residencial	3

Fuente: Estadísticas de Agua en México, CONAGUA.

**Tabla 8. Gasto medio demandado en lps, de acuerdo al tamaño del municipio a nivel nacional**

Tamaño del Municipio (población)	Número de Municipios	Gasto Requerido Total en (lps)	Gasto promedio por municipio (lps)	% Gasto Requerido.	% de Municipios
Menor a 20 000	1,599	24,984	15.62	8.86%	65.56%
De 20 000 a 50 000	465	32,163	69.17	11.41%	19.07%
De 50 000 a 100 000	188	30,578	162.65	10.85%	7.71%
De 100 000 a 150 000	62	18,399	296.76	6.53%	2.54%
de 150 000 a 300 000	59	31,048	526.23	11.01%	2.42%
De 300 000 a 500 000	25	25,084	1,003.36	8.90%	1.03%
De 500 000 a 1 000 000	30	55,471	1,849.03	19.68%	1.23%
Más de 1 000 000	11	64,192	5,835.67	22.77%	0.45%
<b>TOTAL</b>	<b>2,439</b>	<b>281,919</b>			

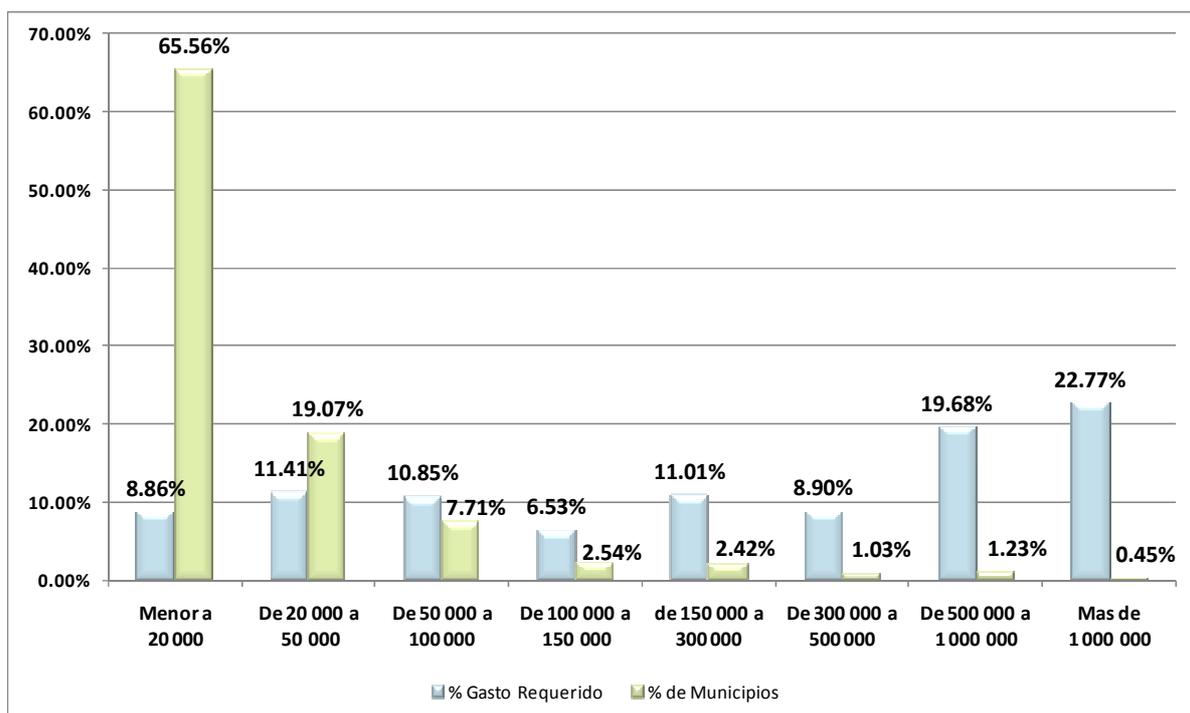
Fuente: Estadísticas de Agua en México, CONAGUA.

Considerando que se puede establecer a nivel nacional una clasificación del nivel socioeconómico de la vivienda de acuerdo al número de cuartos o habitaciones, y a las condiciones de marginación. Del censo de población y vivienda 2005 agrupando el total de viviendas por el número de habitaciones de dichas viviendas a nivel nacional, se puede establecer el porcentaje en números redondos de viviendas que existen de acuerdo al tipo de nivel socioeconómico.

Tanto los estándares internacionales como el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de CONAGUA recomiendan en forma general una dotación de 250 l/hab/día, donde se considera el consumo no doméstico (comercial, oficinas e industrial) y de edificios públicos como hospitales, escuelas parques y jardines.

En la Tabla 8 se observa que el 65.56% de los municipios requieren un gasto de tan sólo 15.62 lps para el abastecimiento de agua y esto representa sólo el 8.86% del gasto total a nivel nacional. Mientras que en 66 municipios se requiere un gasto promedio mayor a 1,000 lps para cumplir con el abasto de agua a su población, lo cual representa el 51.34% del gasto de demanda nacional.

**Figura 4. Porcentaje de gasto de demanda nacional de acuerdo a la población del municipio**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.

En la Figura 4, se observa que el 22.77% del gasto requerido a nivel nacional se concentra en los municipios con una población de más de un millón de habitantes, mientras que en municipios de menos de 50,000 habitantes a pesar de ser un gran número (2,064 municipios), el gasto requerido para el abastecimiento de la población apenas llega al 20.27% del total nacional.

## 2.2.4 Cobertura y producción de agua potable a nivel nacional para abastecimiento a poblaciones

Tomando datos del Censo de Población y Vivienda 2005, la producción de agua reportada por el sector Agua y Saneamiento del Censo Económico de 2004 y lo reportado por CONAGUA en el informe Situación del Subsector Agua Potable y Saneamiento 2009 y haciendo un cruce de información estadístico se obtuvieron los datos de cobertura del servicio y producción de agua a nivel municipal. Del censo de población y vivienda agrupando por municipio el total de viviendas y el total de viviendas que cuentan con conexión de agua entubada a la red pública, se obtiene por tamaño de municipio las cifras mostradas en la Tabla 9, siguiente.

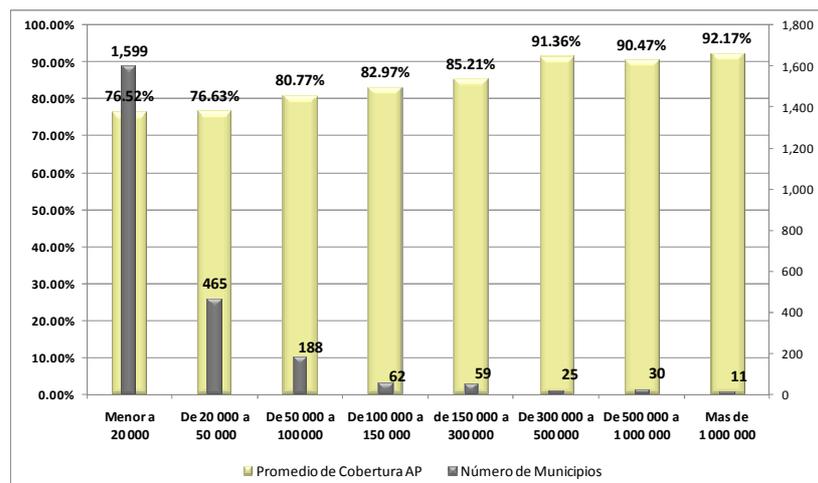
**Tabla 9. Cobertura de agua potable de acuerdo a viviendas con conexión a la red pública**

Tamaño del Municipio (población)	Número de Municipios	Total de viviendas habitadas	Viviendas con agua entubada de la red pública	Promedio de Cobertura AP	% de Municipios
Menor a 20 000	1,599	2,707,758	2,072,086.00	76.52%	65.56%
De 20 000 a 50 000	465	3,311,637	2,537,554.00	76.63%	19.07%
De 50 000 a 100 000	188	2,898,517	2,341,164.00	80.77%	7.71%
De 100 000 a 150 000	62	1,716,295	1,423,945.00	82.97%	2.54%
de 150 000 a 300 000	59	2,780,577	2,369,448.00	85.21%	2.42%
De 300 000 a 500 000	25	2,155,869	1,969,621.00	91.36%	1.03%
De 500 000 a 1 000 000	30	4,814,752	4,355,735.00	90.47%	1.23%
Más de 1 000 000	11	5,741,267	5,291,702.00	92.17%	0.45%
<b>TOTAL</b>	<b>2,439</b>	<b>26,126,672</b>	<b>22,361,255.00</b>		

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (2005).

Como se puede observar en esta tabla, los municipios con una población menor a 50,000 habitantes solo tienen una cobertura menor al 77% de agua entubada.

**Figura 5. Porcentaje de cobertura de servicio de agua potable de acuerdo al tamaño del municipio**



Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda (2005).

En la Figura 5 se observa un comparativo del porcentaje de cobertura del servicio de agua potable contra el número de municipios que presentan esa cobertura. Esto se debe que a la mayoría de poblaciones dentro de estos municipios son de carácter rural, y no cuentan con la infraestructura necesaria para poder llevar agua directamente a sus viviendas.

**Tabla 10. Producción de agua por entidad federativa**

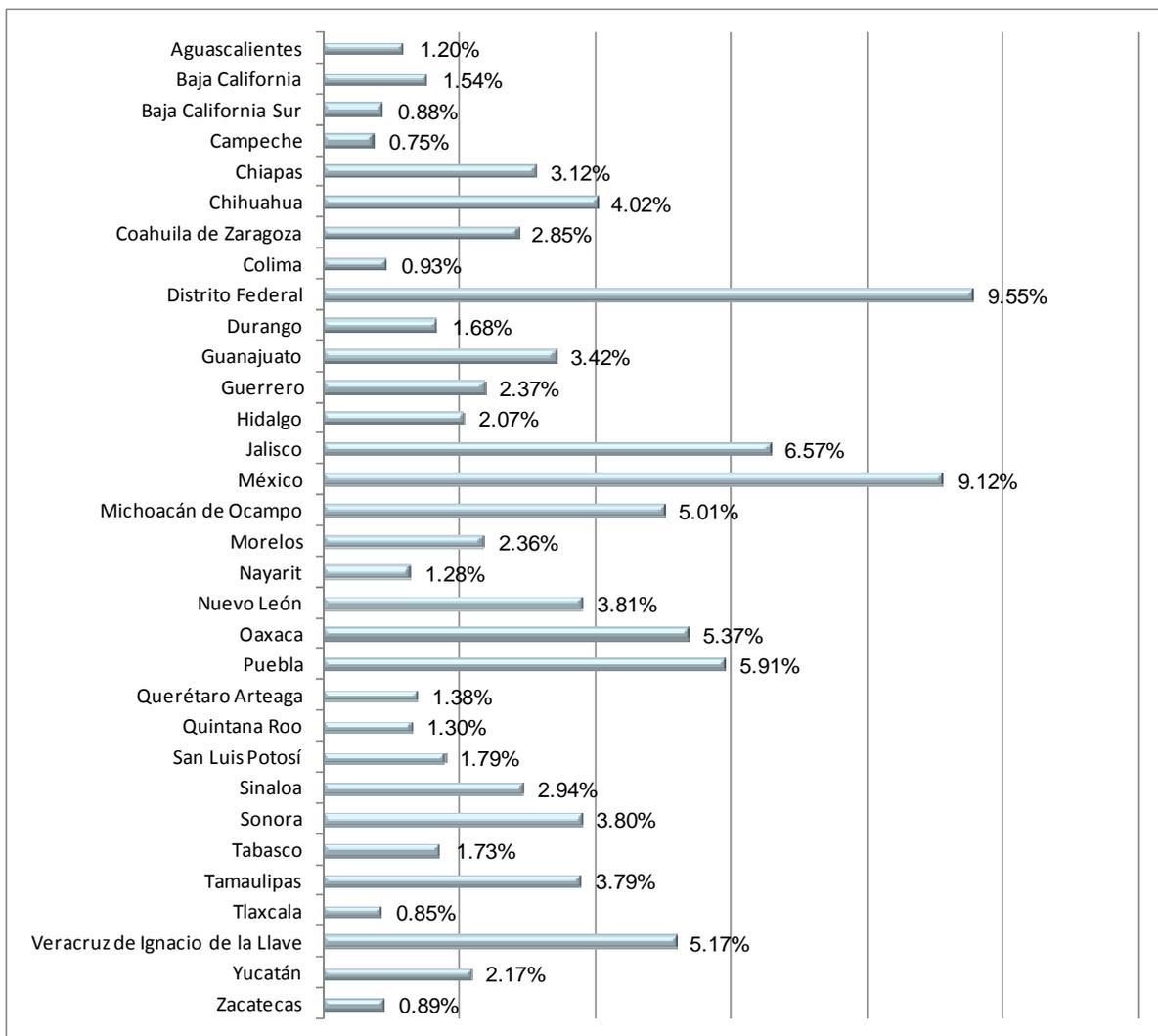
Entidad Federativa	No. De Municipios	Población total 2008	Producción total de agua 2008 lps	Dotación real global l/hab/día	% Prod.
Aguascalientes	11	1,065,416	3,931.70	318.84	1.20%
Baja California	5	2,844,469	8,931.18	271.28	1.54%
Baja California Sur	5	512,170	2,800.12	472.36	0.88%
Campeche	11	754,730	2,916.56	333.88	0.75%
Chiapas	118	4,293,459	5,260.00	105.85	3.12%
Chihuahua	67	3,241,444	13,215.00	352.24	4.02%
Coahuila de Zaragoza	38	2,495,200	11,155.64	386.28	2.85%
Colima	10	567,996	3,651.88	555.50	0.93%
Distrito Federal	1	8,720,916	33,463.12	331.53	9.55%
Durango	39	3,018,234	7,588.36	217.22	1.68%
Guanajuato	46	9,787,624	13,689.00	120.84	3.42%
Guerrero	81	3,115,202	7,617.34	211.27	2.37%
Hidalgo	84	2,345,514	4,303.98	158.54	2.07%
Jalisco	124	6,752,113	20,838.49	266.65	6.57%
México	125	14,007,495	37,428.00	230.86	9.12%
Michoacán de Ocampo	113	3,966,073	14,680.97	319.82	5.01%
Morelos	33	1,612,899	9,941.20	532.53	2.36%
Nayarit	20	949,684	3,123.29	284.15	1.28%
Nuevo León	51	4,199,292	12,289.31	252.85	3.81%
Oaxaca	570	3,506,821	4,893.00	120.55	5.37%
Puebla	217	5,383,133	9,817.95	157.58	5.91%
Querétaro Arteaga	18	1,598,139	5,049.21	272.97	1.38%
Quintana Roo	8	1,135,309	3,907.26	297.35	1.30%
San Luis Potosí	58	2,410,414	5,458.76	195.67	1.79%
Sinaloa	18	2,608,442	10,135.38	335.72	2.94%
Sonora	72	2,394,861	12,955.90	467.41	3.80%
Tabasco	17	1,989,969	10,421.00	452.46	1.73%
Tamaulipas	43	3,024,238	11,700.24	334.27	3.79%
Tlaxcala	60	1,068,207	2,340.60	189.32	0.85%
Veracruz de I. de la Llave	212	7,110,214	21,795.32	264.85	5.17%
Yucatán	106	1,818,948	6,593.24	313.18	2.17%
Zacatecas	58	1,367,692	6,349.74	401.13	0.89%
<b>Total general</b>	<b>2,439</b>	<b>109,666,317</b>	<b>328,242.74</b>	<b>258.60</b>	<b>100%</b>

Fuente: Situación del Subsector, agua potable y saneamiento, CONAGUA (2009).

Como se puede observar 2,064 municipios son los que presentan una cobertura menor al 80%, mientras que 309 municipios entre 50,000 y 300,000 habitantes presentan una cobertura entre el 80% y 90% y solo 66 municipios tienen una cobertura mayor al 90%. Por otro lado, se observa que municipios de más de 300,000 habitantes, la cobertura del servicio es mayor al 90%, siendo las poblaciones de estos municipios en su mayoría de tipo urbano.

En la Tabla 10 se muestra la producción total de agua a nivel nacional, la dotación correspondiente en cada entidad federativa respecto a su producción y el número total de habitantes y en la Figura 6 se muestra el porcentaje de producción de agua de la entidad federativa comparado contra la producción total de agua potable a nivel nacional.

**Figura 6. Porcentaje de producción de agua potable por Entidad Federativa respecto a la producción total a nivel nacional**



Fuente: Elaboración propia a partir de la "Situación del Subsector, Agua Potable y Saneamiento", CONAGUA (2009).

Por otro lado, del documento Situación del Subsector Agua Potable y Saneamiento, Edición 2009, de CONAGUA, se obtiene la producción total de agua potable por entidad federativa en lps, y cruzando con el censo de población y vivienda de 2005 se puede obtener la dotación de

acuerdo a la producción reportada por CONAGUA en litros/habitante/día, correspondiente a cada entidad federativa. Por último se puede obtener también el porcentaje que representa la producción en cada entidad federativa respecto a la producción total a nivel nacional.

Como se puede observar en la Tabla 10 y Figura 6, los porcentajes de mayor producción se dan tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, sin embargo, el Distrito Federal presenta una dotación promedio de 331 l/hab/día, mientras que en el Estado de México esta dotación promedio es de 230 l/hab/día. Así mismo estados como Oaxaca y Puebla que presentan un poco más del 5% de la producción a nivel nacional, tienen solamente una dotación menor a 150 l/hab/día.

Se puede concluir que la dotación promedio por entidad federativa depende del número de municipios con baja cobertura de servicio y urbanización, así como del nivel de fugas de agua que presenten en la red de distribución lo cual se refleja claramente en la estadística mostrada, y para obtener una mejor perspectiva de la producción de agua se debe realizar la estadística a nivel municipal, agrupando por tamaño de municipio.

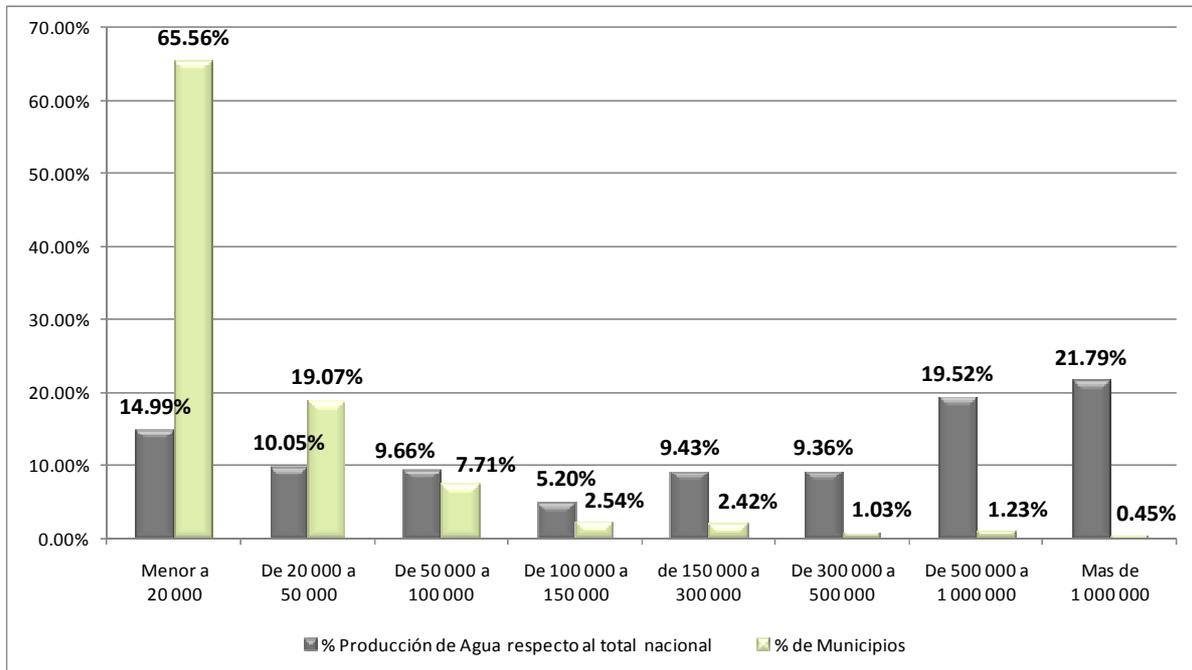
**Tabla 11. Producción de agua potable por tamaño de municipio**

Tamaño del Municipio (población)	Número de Municipios	Gasto Agua Producida en lps	Promedio de Gasto Agua Producida por municipio lps	% Producción de Agua respecto al total nacional	% de Municipios
Menor a 20 000	1,599	48,959.78	30.62	14.99%	65.56%
De 20 000 a 50 000	465	32,816.61	70.57	10.05%	19.07%
De 50 000 a 100 000	188	31,541.20	167.77	9.66%	7.71%
De 100 000 a 150 000	62	16,998.48	274.17	5.20%	2.54%
de 150 000 a 300 000	59	30,792.38	521.90	9.43%	2.42%
De 300 000 a 500 000	25	30,586.63	1,223.47	9.36%	1.03%
De 500 000 a 1 000 000	30	63,776.95	2,125.90	19.52%	1.23%
Más de 1 000 000	11	71,187.77	6,471.62	21.79%	0.45%
<b>TOTAL</b>	<b>2,439</b>	<b>326,659.81</b>			

Al determinar la producción de agua reportada por las empresas del sector agua potable del censo de población y vivienda, tomando en cuenta los índices de crecimiento correspondientes, se obtiene para cada municipio la producción total de agua en lps, y con esto se puede obtener la producción total por municipio de acuerdo a su tamaño, así como la producción promedio en los municipios de dicho tamaño, como se muestra en la Tabla 11 y Figura 7.

Se puede observar que en el 75.63% de los municipios del país sólo se produce el 25% del agua a nivel nacional, con una producción de entre 30 lps y 70 lps en promedio en cada uno de ellos, lo cual puede ser producida por una o máximo dos fuentes de abastecimiento, lo cual no debe representar para esos municipios un consumo importante de energía, como se verá a continuación.

Figura 7. Porcentaje del gasto de producción de agua potable por tamaño de municipio



Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

## 2.2.5 Cuantificación de consumo de energía eléctrica

La Comisión Federal de Electricidad y el Sistema de Información Energética reportan que en tarifa 6 Bombeo de agua potable y alcantarillado de servicio público, en enero 2010 se tienen reportados 32,688 usuarios con una venta de 228,583 MWh. Si este valor se toma como promedio mensual, el consumo en tarifa 6 podría ser hasta de 2'742,996 MWh/año.

Tabla 12. Datos de venta para usuarios en Tarifa 6 de acuerdo al SIE

Mes	Enero 2005	Enero 2010
Venta mensual (mega watts-hora)	216,581	228,583
Usuarios	28,251	32,688
Venta Anual (mega watts-hora)	2'598,972	2'742,996

Fuente: Sistema de Información Energética (2010).

Sin embargo y de acuerdo a la experiencia de autor, no todos los sistemas de bombeo de agua municipal se encuentran registrados en contratos de tarifa 6. Tomando como base los consumos de energía eléctrica reportados en el censo económico 2004, a la tarifa promedio y ponderando con los datos del sistema sectorial de información eléctrica para las tarifas correspondientes, se puede estimar de una forma más precisa los consumos de energía eléctrica por municipio y por entidad federativa.

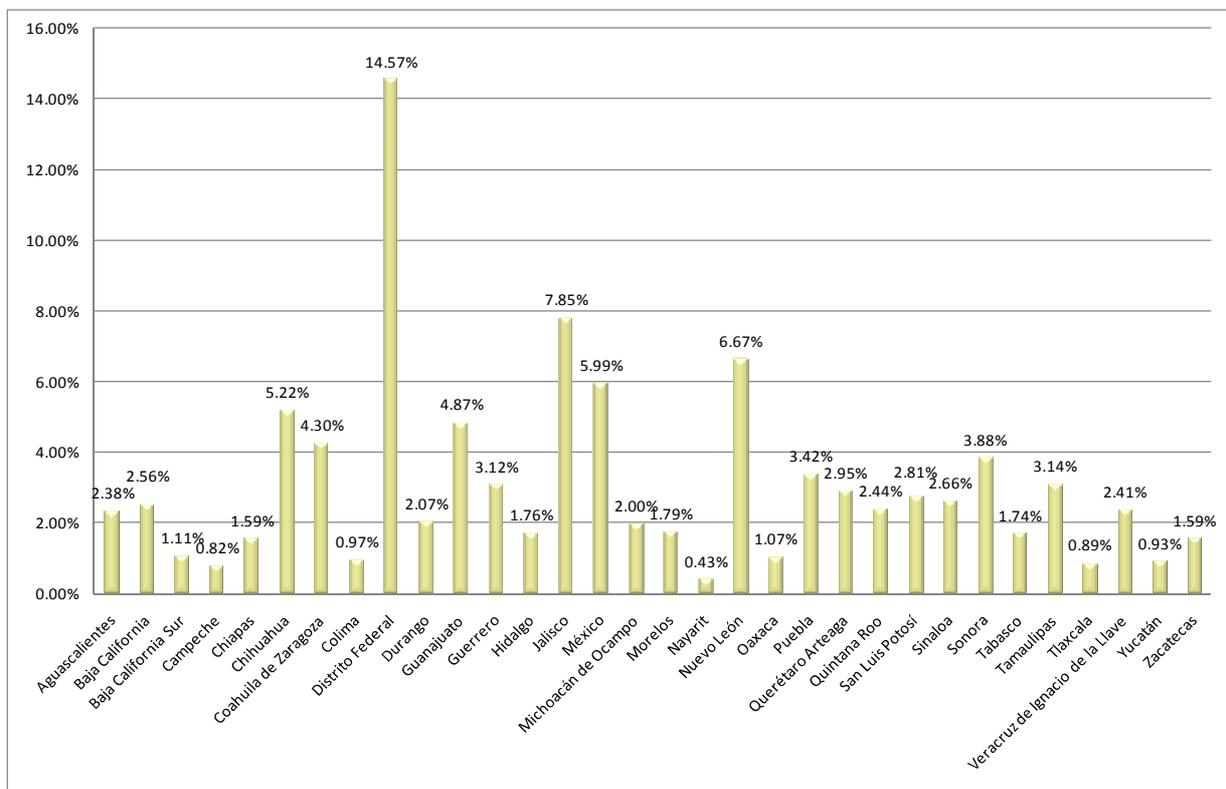
**Tabla 13. Consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa**

Entidad Federativa	Número de Municipios	Población total	Estimado de consumo EE en kWh/año	% Consumo Energía Eléctrica respecto al nacional
Aguascalientes	11	1,065,416	89,738,316	2.38%
Baja California	5	2,844,469	96,491,288	2.56%
Baja California Sur	5	512,170	41,873,718	1.11%
Campeche	11	754,730	31,082,723	0.82%
Chiapas	118	4,293,459	60,045,351	1.59%
Chihuahua	67	3,241,444	197,018,482	5.22%
Coahuila de Zaragoza	38	2,495,200	162,025,810	4.30%
Colima	10	567,996	36,634,343	0.97%
Distrito Federal	1	8,720,916	549,431,526	14.57%
Durango	39	3,018,234	77,898,388	2.07%
Guanajuato	46	9,787,624	183,614,151	4.87%
Guerrero	81	3,115,202	117,716,577	3.12%
Hidalgo	84	2,345,514	66,257,450	1.76%
Jalisco	124	6,752,113	296,130,516	7.85%
México	125	14,007,495	226,067,904	5.99%
Michoacán de Ocampo	113	3,966,073	75,547,549	2.00%
Morelos	33	1,612,899	67,447,158	1.79%
Nayarit	20	949,684	16,279,108	0.43%
Nuevo León	51	4,199,292	251,571,487	6.67%
Oaxaca	570	3,506,821	40,253,216	1.07%
Puebla	217	5,383,133	129,077,023	3.42%
Querétaro Arteaga	18	1,598,139	111,096,971	2.95%
Quintana Roo	8	1,135,309	92,085,979	2.44%
San Luis Potosí	58	2,410,414	105,920,046	2.81%
Sinaloa	18	2,608,442	100,213,890	2.66%
Sonora	72	2,394,861	146,254,763	3.88%
Tabasco	17	1,989,969	65,471,014	1.74%
Tamaulipas	43	3,024,238	118,551,702	3.14%
Tlaxcala	60	1,068,207	33,736,281	0.89%
Veracruz de Ignacio de la Llave	212	7,110,214	90,921,674	2.41%
Yucatán	106	1,818,948	35,223,416	0.93%
Zacatecas	58	1,367,692	59,830,484	1.59%
<b>Total General</b>	<b>2,439</b>	<b>109'666,317</b>	<b>3,771'508,305</b>	

En la Tabla 13 se muestra el consumo estimado de energía eléctrica por entidad federativa obtenido de la suma del estimado en cada uno de los municipios de dicha entidad, así mismo se muestra el porcentaje que representa dicho consumo de energía eléctrica respecto al consumo a nivel nacional.

En la Figura 8 se muestra de manera gráfica el porcentaje de consumo de energía eléctrica para sistemas de bombeo por entidad federativa a nivel nacional. Por otra parte, con el fin de tener un comparativo que nos permita observar la situación actual de los sistemas de bombeo de agua municipal, en la Figura 9 se hace un comparativo del porcentaje de consumo de energía eléctrica contra el porcentaje representativo de producción de agua potable para cada entidad federativa. A continuación se muestran los resultados de las tablas y figuras mencionadas.

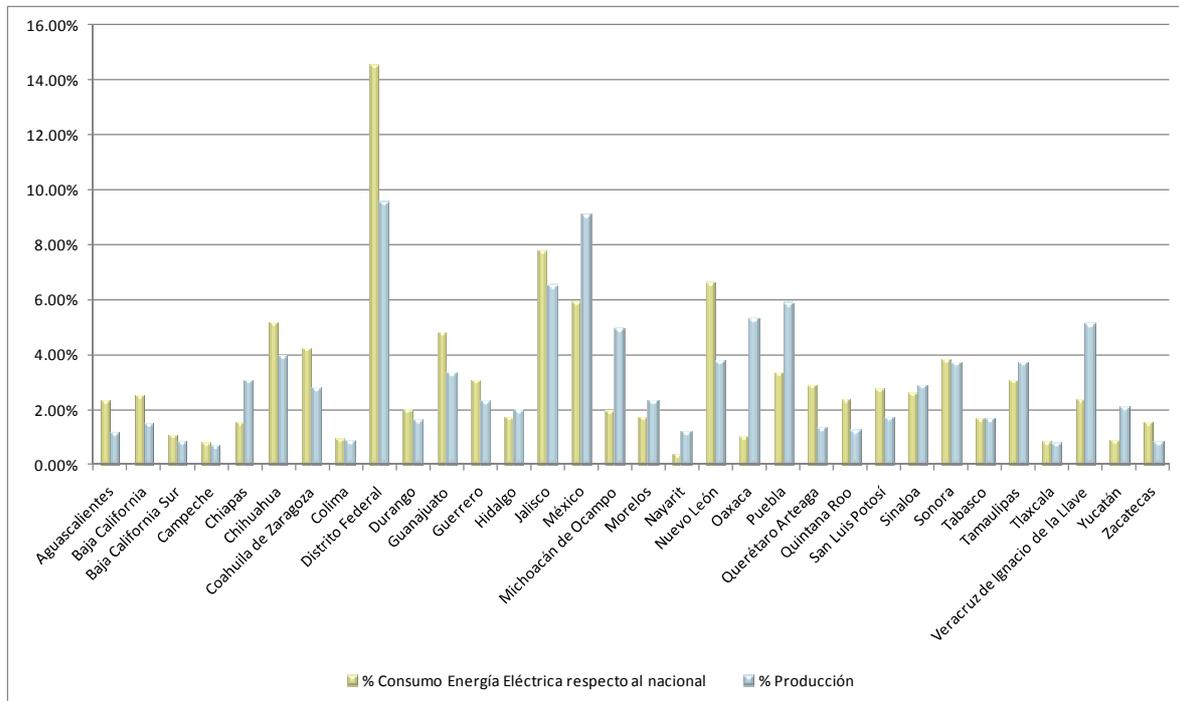
**Figura 8. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa**



Fuente: Elaboración del autor con información del SIE (2010).<sup>2</sup>

Como se puede observar en la Tabla 13 y Figuras 8 y 9 la entidad federativa con mayor consumo de energía eléctrica es el Distrito Federal, sin embargo, a diferencia de la estadística de producción de agua, el Estado de México es el 4º lugar en consumo de energía en sistemas de bombeo, por debajo de Jalisco y Nuevo León. Estas discrepancias pueden deberse a un gran número de factores y comprueba que es necesario tener estadísticas y datos ciertos para poder realizar un análisis más detallado de la situación y relación de la producción de agua contra el consumo de energía de los sistemas de bombeo municipales.

**Figura 9. Comparativo del porcentaje de producción de agua contra el porcentaje de consumo de energía eléctrica por Entidad Federativa**



Fuente: Elaboración del autor con información del SIE y CONAGUA (2010).<sup>2</sup>

Por otra parte, con los datos obtenidos de las fuentes de información mencionadas anteriormente, se puede agrupar el consumo de energía reportado en función del tamaño de los municipios, obteniendo en cada caso la energía eléctrica consumida, tanto total como promedio; y el porcentaje que dicho consumo representa del total nacional.

**Tabla 14. Consumo de energía eléctrica de acuerdo al tamaño de municipio**

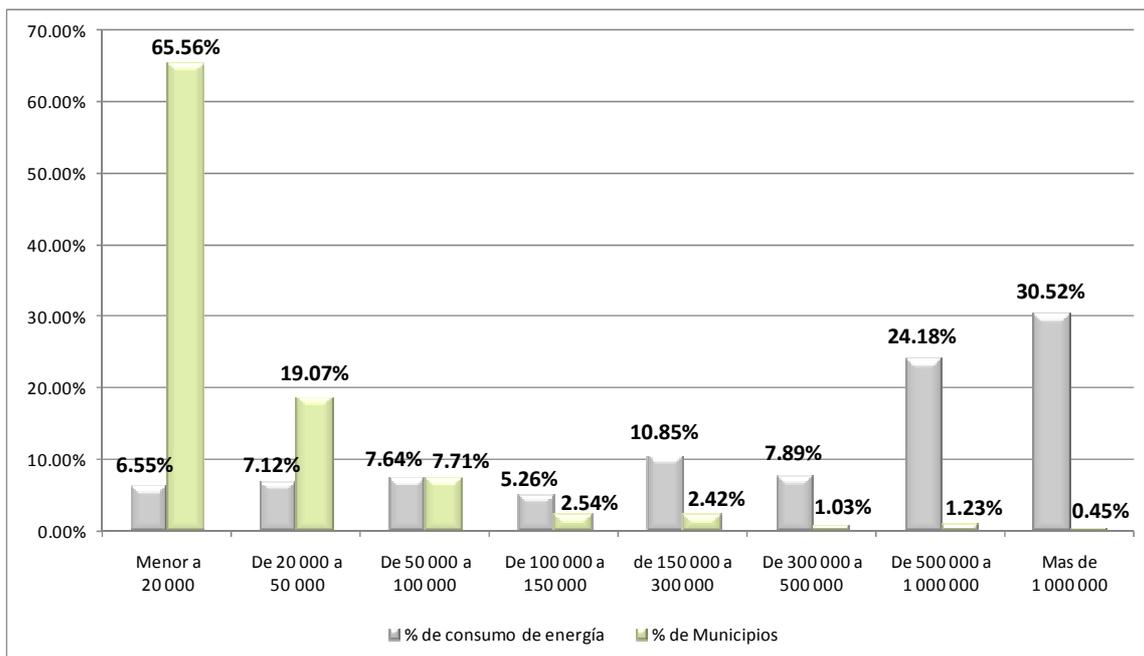
Tamaño del municipio (población)	Número de municipios	Consumo energía eléctrica Total kWh/año	Consumo energía eléctrica promedio por municipio kWh/año	% de consumo de energía
Menor a 20 000	1,599	246,878,238	154,395	6.55%
De 20 000 a 50 000	465	268,626,320	577,691	7.12%
De 50 000 a 100 000	188	287,982,369	1,531,821	7.64%
De 100 000 a 150 000	62	198,305,172	3,198,471	5.26%
de 150 000 a 300 000	59	409,090,101	6,933,731	10.85%
De 300 000 a 500 000	25	297,425,154	11,897,006	7.89%
De 500 000 a 1 000 000	30	912,043,562	30,401,452	24.18%
Más de 1 000 000	11	1,151,157,390	104,650,672	30.52%
<b>TOTAL</b>	<b>2,439</b>	<b>3,771,508,305</b>		

Fuente: SIE (2010).

En la Tabla 14 se muestra de manera ilustrativa, el resultado del cruce de información de consumo de energía eléctrica por tamaño de municipio, y en la Figura 10 se presenta en forma esquemática el porcentaje de energía eléctrica respecto al consumo nacional por concepto de bombeo de agua municipal.

Se observa que 1,599 municipios con menos de 20,000 habitantes sólo consumen en energía de bombeo 154,395 kWh/año. Mientras que 188 municipios de entre 50,000 y 100,000 habitantes consumen en promedio 1'531,821 kWh/año.

**Figura 10. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por tamaño de municipio**



Fuente: Elaboración del autor con información del SIE (2010).<sup>2</sup>

Solamente el 14.67% de la energía se consume en el 84% de los municipios con menos de 50,000 habitantes, mientras que 11 municipios (0.45%) consumen el 30.52% de la energía de bombeo.

## 2.2.6 Cuantificación de consumos energéticos adicionales derivados

Los sistemas de bombeo de agua municipal, además de la energía consumida para realizar la función de llevar el agua a la población a la que sirve, y debido a las oportunidades de eficiencia en la operación de las redes de distribución, provoca dos efectos colaterales que influyen en el consumo de energía adicional.

### 2.2.6.1 Energía eléctrica en bombeo de agua adicional, utilizada por el usuario final

Al no tener presión y contar con un servicio discontinuo de agua potable, los usuarios han construido cisternas o depósitos de almacenamiento y para tener agua en los niveles superiores de sus viviendas o comercios, hacen uso de bombas centrífugas o sistemas hidroneumáticos

para llevar el agua al tinaco y con eso obtener el agua a la presión deseada en los niveles correspondientes.

A nivel nacional de acuerdo al Censo de 2005 existen 22'361,255 de viviendas con conexión a la red de agua potable, si se estima que el 35% de estas viviendas cuentan con sistema cisterna-tinaco para el abastecimiento interno de su vivienda, estaríamos hablando de 7'826,439 sistemas de bombeo en casas habitación.

Por otro lado, si en promedio se consume en una vivienda de 4 personas promedio 800 litros, y se estima que las bombas domésticas tendrían que elevar el agua a una altura promedio de 10 metros, tomando en cuenta la eficiencia de estas bombas centrífugas (55% máximo), se puede estimar que al año cada sistema de bombeo de casa habitación consumiría un promedio de 15 kWh/año en números redondos.

### 2.2.6.2 Consumo energético de combustible en distribución de agua por medio de pipas

Como se mencionó anteriormente, otra consecuencia de una baja eficiencia en la operación de los sistemas de producción y distribución de agua potable es la necesidad de tandeo, con lo cual provoca que para abastecer a estas zonas, los organismos operadores deban de utilizar pipas de agua para complementar esta falta de distribución, las cuales consumen combustibles que se consideran como energéticos, y por lo tanto equivalen a un consumo adicional de energía.

El Costo total reportado en Censo Económico 2004 por el sector producción de agua potable, en combustibles y lubricantes es de \$398'938,000.00.

## 2.2.7 Consumo total de energía a nivel nacional

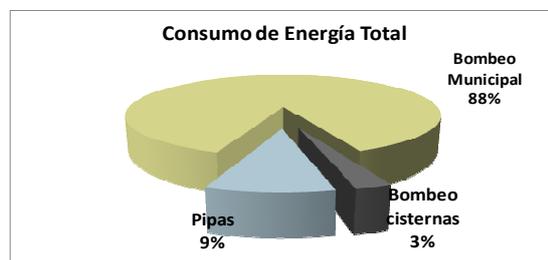
De acuerdo a lo mencionado en las secciones 2.2.7 y 2.2.8 se puede estimar el consumo total de energía utilizado en sistemas de bombeo de agua municipal de acuerdo a lo siguiente.

**Tabla 15. Resumen de consumo total de energía a nivel nacional en sistemas de agua potable municipal**

Factor de Consumo.	Energía consumida kWh/año
Bombeo Municipal	3,771,508,305
Bombeo Cisternas domestico	117,396,589
Pipas	403,031,552
<b>TOTAL</b>	<b>4,291'936,446</b>

Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

**Figura 11. Porcentaje de consumo de energía a nivel nacional en sistemas de agua potable por factor de consumo**



Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

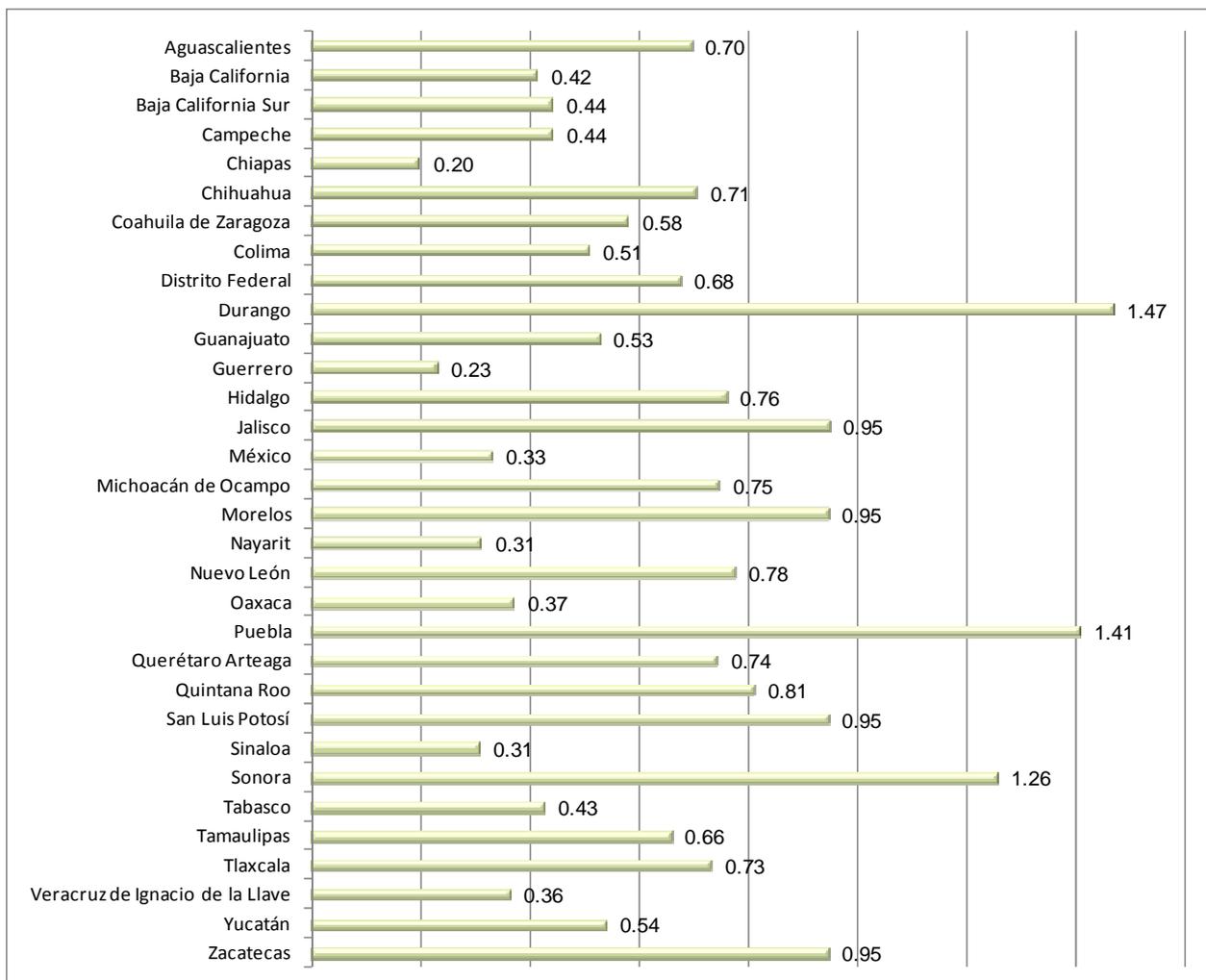
Dada la información se deduce que, el consumo total de energía en sistemas de bombeo municipal es de **4,291 GWh/año**.

## 2.2.8 Índice Energético a nivel nacional

Como se mencionó anteriormente, el indicador más importante para relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua producida es el Índice Especifico de Consumo Energético o IE, expresado en (kWh/m<sup>3</sup>) y representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población.

El valor del índice energético para un sistema de bombeo de agua municipal lleva implícito la eficiencia y el trabajo de bombeo que debe realizar para entregar el agua a la población, y siendo éstos factores particulares para cada sistema, solo se puede tomar en forma de promedio nacional como valor de referencia y cada sin poder dar una calificación a dicho índice. No obstante lo antes mencionado, se obtuvo un promedio de los índices energéticos por entidad federativa, los cuales se muestran en la Figura 12 siguiente.

Figura 12. Índice Energético promedio por Entidad Federativa



Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

Se puede observar en la figura que los índices energéticos promedio por entidad federativa son muy variables con valores que van de 0.20 kWh/m<sup>3</sup> hasta 1.47 kWh/m<sup>3</sup>. Por otro lado, se

pueden obtener valores de índice energético promedio de acuerdo al tamaño de los municipios, con lo cual se suaviza el sesgo de dichos valores obteniendo un rango de valores más aceptable de acuerdo a la Tabla 16 siguiente.

**Tabla 16. Índice Energético promedio por tamaño de municipio a nivel nacional**

Tamaño del Municipio (población)	Número de Municipios	Promedio de ÍNDICE ENERGÉTICO kWh/m <sup>3</sup>
Menor a 20 000	1,599	0.76
De 20 000 a 50 000	465	1.92
De 50 000 a 100 000	188	0.44
De 100 000 a 150 000	62	0.99
de 150 000 a 300 000	59	0.55
De 300 000 a 500 000	25	0.38
De 500 000 a 1 000 000	30	0.52
Más de 1 000 000	11	0.50
<b>TOTAL Nacional</b>	<b>2,439</b>	<b>0.95</b>

Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

Como se puede observar en esta tabla, el índice energético no guarda tampoco una relación directa con el tamaño del municipio, sin embargo, los valores de dicho índice muestran un promedio general nacional de 0.95 kWh/m<sup>3</sup>. Esto quiere decir que para obtener el valor real de índice energético se debe obtener los datos en forma directa para cada uno de los municipios.

Por otro lado, el autor ha realizado diversos trabajos de consultoría en 30 organismos operadores, y con ello ha logrado obtener los datos básicos para el cálculo del índice energético en cada uno de ellos. En la Tabla 17 y Figura 13 se muestran los índices energéticos calculados para los organismos operadores en donde el autor ha realizado trabajos de asesoría y proyectos de eficiencia, o incluso aquellos que han enviado datos tanto de producción como de consumo de energía eléctrica para alguna asesoría menor o cotización de trabajos.

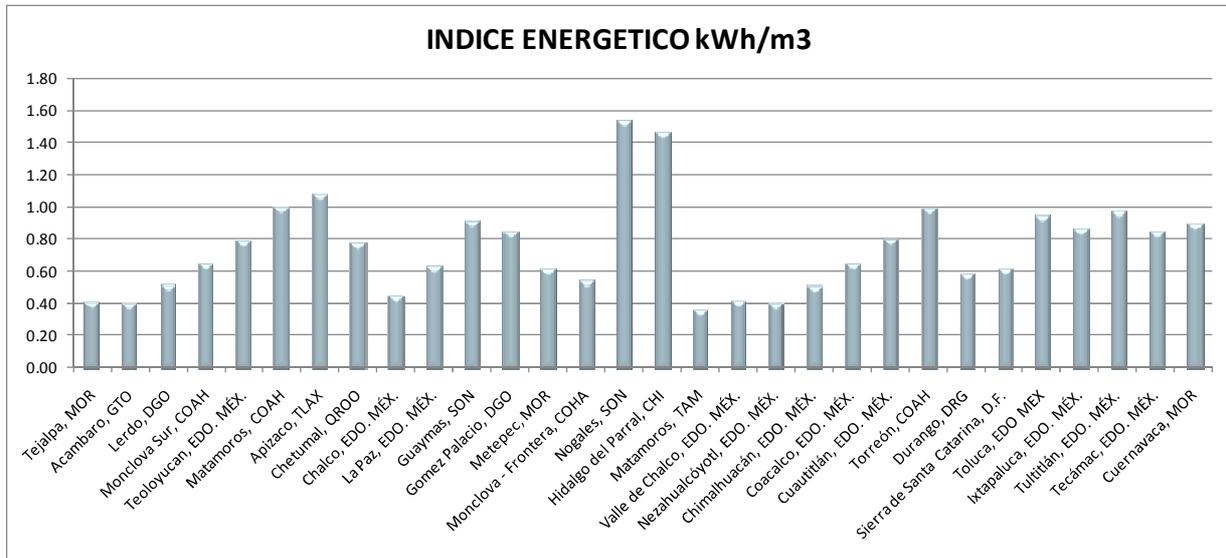
Con los datos de estos 30 organismos se puede obtener una muestra de registros con valores reales de índice energético y así mismo obtener un promedio general de índice energético como se muestra a continuación.

**Tabla 17. Índice Energético en una muestra de organismos operadores de acuerdo a la información recabada por el autor**

Organismo	Producción total de agua potable m <sup>3</sup> /año	Consumo total de energía eléctrica en bombeo kWh/año	ÍNDICE ENERGÉTICO kWh/m <sup>3</sup>
Tejalpa, MOR	3,020,583.15	1,262,296	0.42
Acámbaro, GTO	9,697,403.42	3,912,597	0.40
Lerdo, DGO	11,445,597.36	5,921,002	0.52
Monclova Sur, COAH	7,213,057.00	4,671,691	0.65
Teoloyucán, EDO. MÉX.	3,368,044.80	2,669,167	0.79
Matamoros, COAH	4,647,155.00	4,641,636	1.00
Apizaco, TLAX	4,417,000.00	4,775,043	1.08
Chetumal, QROO	18,449,215.00	14,448,453	0.78
Chalco, EDO. MÉX.	13,560,480.00	6,183,567	0.46
La Paz, EDO. MÉX.	13,874,389.20	8,769,804	0.63
Guaymas, SON	16,072,491.60	14,745,137	0.92
Gómez Palacio, DGO	44,178,797.39	37,788,394	0.86
Metepec, MOR	7,854,317.00	4,848,038	0.62
Monclova - Frontera, COHA	27,566,433.00	14,972,859	0.54
Nogales, SON	22,781,038.00	34,826,673	1.53
Hidalgo del Parral, CHI	9,940,092.47	14,550,499	1.46
Matamoros, TAM	61,305,984.00	22,581,768	0.37
Valle de Chalco, EDO. MÉX.	23,387,184.00	9,909,998	0.42
Nezahualcóyotl, EDO. MÉX.	20,056,896.00	8,165,081	0.41
Chimalhuacán, EDO. MÉX.	18,858,528.00	9,614,726	0.51
Coacalco, EDO. MÉX.	11,416,032.00	7,379,785	0.65
Cuautitlán, EDO. MÉX.	8,672,400.00	6,940,525	0.80
Torreón, COAH	66,500,000.00	66,067,153	0.99
Durango, DRG	73,830,588.52	43,362,876	0.59
Sierra de Santa Catarina, D.F.	32,348,160.00	20,005,867	0.62
Toluca, EDO MEX	24,169,991.34	22,959,838	0.95
Ixtapaluca, EDO. MÉX.	8,651,113.20	7,526,393	0.87
Tultitlán, EDO. MÉX.	6,269,356.80	6,112,547	0.97
Tecámac, EDO. MÉX.	8,288,186.40	7,076,045	0.85
Cuernavaca, MOR	76,925,546.00	69,051,300	0.90
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>220,441,609.86</b>	<b>172,975,200</b>	<b>0.78</b>

Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

Figura 13. Índice Energético en la muestra de proyectos elaborados por el autor



Fuente: Elaboración del autor.<sup>2</sup>

Como se puede observar, en el caso de la muestra de organismos operadores atendidos por el autor también se presenta una variación importante de dicho índice, que va desde 0.41 kWh/m<sup>3</sup> hasta 1.53 kWh/m<sup>3</sup>, siendo el promedio general de la muestra, un índice de 0.78 kWh/m<sup>3</sup>, por lo que se puede ratificar que el índice energético es un valor de referencia para cada uno de los organismos operadores y que aún cuando los promedios varían entre 0.78 y 0.95 kWh/m<sup>3</sup>, y en forma general para una estimación rápida, se pudiera tomar un valor nacional entre estos dos, es conveniente determinar para cada organismo su valor real como indicador base. El objetivo, entonces para cada organismo será el buscar mediante soluciones de eficiencia tanto en la operación hidráulica como de eficiencia energética, reducir el índice energético a partir de su valor base.

## 2.3 Identificación de programas institucionales existentes

### 2.3.1 Resumen de programas federales en materia de agua potable y saneamiento

Los programas federales del sector hídrico, son administrados por la Comisión Nacional del Agua y se describen a continuación, resaltando su objetivo, el tipo de financiamiento e incentivos que otorgan:

**Tabla 18. Resumen de programas federales en materia de agua potable y saneamiento municipal**

Programa	Objetivo y financiamiento
Devolución de Derechos (PRODDER)	<p>Tiene como objetivo coadyuvar a la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en municipios con poblaciones mayores a 2,500 habitantes, mediante la asignación de recursos a los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento de los ingresos federales que se obtengan por la recaudación de los derechos por la explotación, aprovechamiento o uso de aguas nacionales.</p> <p>El Gobierno Federal asigna el equivalente a los derechos por explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales que cada trimestre los prestadores de servicios pagan, con la condición de que aporten la misma cantidad, y ese recurso conjunto se invierte en un programa de acciones que busque el incremento de eficiencias y mejoramiento de los servicios. Con este programa, del 2002 al 2009 se han asignado alrededor de \$12,300 millones de pesos de derechos, que han resultado en una inversión en el subsector del orden \$25 mil millones de pesos.</p>
Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)	<p>Tiene por objeto apoyar a los prestadores de servicios en localidades mayores a 50 mil habitantes en la mejora de eficiencias y coberturas de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, con la participación de capital privado como complemento a los recursos no recuperables que el programa brinda, lo que implica un cambio estructural que fomente la consolidación y autosuficiencia de los organismos operadores de agua.</p> <p>Bajo este programa, dependiendo del tipo del proyecto, el Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN) aporta a fondo perdido hasta el 40 ó 49% del costo del proyecto, y la empresa privada adjudicada aporta el resto (20% como capital de riesgo y el resto como deuda). En la etapa de operación, el prestador del servicio paga una contraprestación mensual por los servicios del proyecto.</p>
Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU)	<p>El objetivo del programa es fomentar y apoyar a las entidades federativas y municipios en el desarrollo de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento en centros de población mayores a 2,500 habitantes, mediante acciones de mejoramiento en la eficiencia operativa y uso eficiente del recurso, así como el manejo integral de los servicios para proporcionar agua para los diversos usos y fundamentalmente para el consumo humano.</p> <p>Con este programa la inversión se da a través de la mezcla de recursos, el gobierno federal apoya a fondo perdido, proyectos de agua potable (40%), proyectos de saneamiento y plantas potabilizadoras (50%), mejoramiento de eficiencias (60%) y estudios y proyectos (75%). El resto de la aportación es estatal y/o local. La operación de infraestructura queda a cargo del organismo operador o estado. Sólo para el ejercicio fiscal 2010, los recursos federales se podrán aplicar de la siguiente forma: agua potable hasta 57%; plantas potabilizadoras hasta 64%; saneamiento hasta 64%; mejoramiento de eficiencia hasta el 71%; estudios y proyectos hasta 82%; y, drenaje pluvial urbano hasta 64%.</p>
Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento	<p>Su objetivo es apoyar el incremento de la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades rurales con población menor o igual a 2,500 habitantes, mediante la construcción y ampliación de infraestructura con la participación comunitaria organizada, a fin de inducir la sostenibilidad de esos servicios.</p> <p>La inversión anual en cada uno de los estados participantes se integra con una mezcla de</p>

en Zonas Rurales (PROSSAPYS)	recursos, con aportaciones federales a fondo perdido que van del 50% al 100% dependiendo del grado de marginalidad de la localidad y de la cobertura del servicio a nivel localidad y estado. Sólo para el ejercicio fiscal 2010 se podrán aplicar los recursos federales de la siguiente forma: localidades de alta y muy alta marginación hasta 78%; estudios y proyectos ejecutivos para localidades de alta y muy alta marginación hasta 100%; localidades con problemas de salud hasta 100%; y resto de las localidades hasta 64%.
Federal de Saneamiento de Aguas Residuales, (PROSANEAR)	Tiene como objetivo otorgar estímulos para el tratamiento de aguas residuales, a favor de los contribuyentes municipales y no municipales, proyectando con esto avanzar en el saneamiento de las aguas nacionales, la reducción de la contaminación, prevenir la incidencia de enfermedades de origen hídrico y contribuir al equilibrio ecológico.  Son candidatos a este programa los contribuyentes Municipales y No Municipales, que hayan efectuado los pagos del ejercicio 2008 por concepto del uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; que reconozcan los créditos fiscales determinados o autodeterminados hasta el 31 de diciembre de 2007; por otra parte deberán presentar la Solicitud para la asignación de recursos y condonación de adeudos y su Programa de Acciones individual o colectivo.
Agua Limpia (PAL)	Su objetivo es incrementar y mantener, mediante la cloración, los niveles de desinfección del agua que se suministra a la población, de modo que reúna condiciones aptas para uso y consumo humano.  Dependiendo del tipo de estado, municipio o localidad puede recibir desde el 100% hasta el 70% de apoyo federal y el resto es aportado por la contraparte local.
Fondo Concursable para el Tratamiento de Aguas Residuales	Busca apoyar a los prestadores del servicio de agua y saneamiento, prioritariamente a aquellos con deficiencias en cobertura de tratamiento no mayores a medio millón de habitantes o con alta y muy alta marginalidad, para invertir en infraestructura y operación de PTARs para incrementar el volumen tratado y que cumpla con la norma oficial aplicable.  Mediante la mezcla de recursos, para la construcción y rehabilitación de infraestructura, el apoyo federal es de hasta el 70% y 60%, respectivamente, con incrementos graduales del apoyo si el agua tratada es reusada, mientras que para la operación, brinda un apoyo por metro cúbico tratado, que dependiendo de la calidad de la descarga va de \$0.30 a \$0.50. El apoyo se brinda anualmente. Sólo para el ejercicio fiscal 2010, los recursos federales se podrán aplicar en infraestructura de la siguiente forma: construcción o ampliación de nueva infraestructura hasta 72%, rehabilitación de infraestructura hasta 71%; y estudios y proyectos hasta 78%.

Fuente: Diversas publicaciones, CONAGUA.

Todos estos programas, como se puede ver, contemplan el apoyo con recurso federal para los municipios en la mejora de los sistemas de agua potable y saneamiento, y ellos están enfocados en el apoyo para incrementar la infraestructura específicamente para incrementar la cobertura tanto de agua potable, como de desinfección y saneamiento de aguas residuales. Solo los programas PRODER, PROMAGUA y APAZU contemplan acciones en la mejora de la eficiencia operativa de los organismos. Debido a esto se crea un nuevo programa donde se dan apoyos para la mejora de la eficiencia general en los organismos operadores llamado PROME.

### 2.3.2 Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores (PROME)<sup>3</sup>

En 2005 se firmó un contrato de préstamo con el Banco Mundial para financiar al Programa de Asistencia Técnica para la Mejora de la Eficiencia del Sector de Agua Potable y Saneamiento

<sup>3</sup> Folleto informativo del Programa de Mejoramiento de Eficiencias en Organismos Operadores (PROME) editado por CONAGUA, 2010. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Gerencia de Fortalecimiento de Organismos Operadores

(PATME), proyecto piloto del que derivaron experiencias y buenas prácticas a través del financiamiento de acciones de incremento de eficiencias en una muestra de organismos operadores a nivel nacional.

Debido al éxito del PATME, en 2010 se firma con el Banco Mundial un nuevo contrato de préstamo para financiar parcialmente el ahora denominado Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores (PROME) enfocado a apoyar a un mayor número de organismos operadores interesados en mejorar su eficiencia de forma integral aprovechando las experiencias adquiridas en la ejecución del primer programa.

**Objetivo:** Mejorar las eficiencias de los organismos operadores de agua y saneamiento participantes por medio de asistencia técnica y financiamiento.

Este programa tiene como base dos componentes:

### **Componente 1.- Mejora del manejo de información y conocimiento en el sector de agua y saneamiento**

Esta componente tiene como fin fortalecer a la CONAGUA en su misión de apoyar a los organismos operadores del país, desarrollar instrumentos para la generación y análisis de información del sector; así como de apoyar al personal de los organismos operadores mediante asistencia técnica y capacitación.

Las actividades financiadas por esta componente son contratadas directamente por la CONAGUA y pueden ser:

- Impartición de cursos de capacitación en eficiencia física y comercial y desarrollo de manuales.
- Diseño de sistemas informáticos para el procesamiento, manejo y análisis de información.
- Elaboración de estudios relacionados con el sector de agua potable y saneamiento.
- Preparación de normas.
- Publicación de documentos de análisis y difusión de buenas prácticas.
- Organización de eventos, conferencias y seminarios.

### **Componente 2.- Modernización de la prestación de los servicios de los organismos operadores**

Esta componente tiene como objetivo apoyar de forma directa a los organismos operadores participantes en el programa mediante el financiamiento de acciones de incremento de eficiencia, específicamente en las áreas de administración, eficiencia operacional y viabilidad financiera y que estén sustentadas sobre un esquema de planeación.

Dentro de la componente 2 existen tres subcomponentes de apoyo.

#### **Subcomponente: Asistencia Técnica/Estudios**

Esta subcomponente se enfoca en brindar asistencia técnica y asesoría a organismos operadores en materia de fortalecimiento institucional y sirve para financiar estudios que sirvan

de complemento a las acciones que se implementen en la Subcomponente de Inversión Clásica.

Las actividades que se pueden realizar en esta componente son:

- Estudios simplificados de la situación del sistema de agua potable, drenaje y saneamiento, diagnósticos integrales y complementarios.
- Apoyo en mejora del modelo de gestión o cambio de prestación municipal a organismo operador.
- Elaboración de propuestas de reforma del marco legal.
- Desarrollo de estructuras tarifarias y subsidios.
- Elaboración de Expedientes Técnicos y Términos de Referencia.

La aportación federal para estos estudios sería de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 19.

**Tabla 19. Esquema de financiamiento de estudios y asistencia técnica del PROME**

Acción	% de aportación federal
Desarrollo del Estudio Simplificado de la Situación del Sistema de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento y Diagnósticos Integrales y Complementarios	75 %
Otros estudios	60 %

Fuente: CONAGUA (2010).

### **Subcomponente: Inversión Clásica**

Orientada en brindar apoyo mediante financiamiento para ejecutar acciones de mejoramiento de eficiencia derivadas del diagnóstico del organismo operador. Para acceder a esta subcomponente el Organismo Operador (OO) deberá:

- Tener elaborado un estudio simplificado de la situación del sistema de agua potable, drenaje y saneamiento ó un diagnóstico integral del OO con un plan de inversión priorizando las acciones de eficiencia (sustancialmente acorde a los TDR de la CONAGUA).
- Los OO deberán presentar anualmente a la CONAGUA los indicadores de gestión soportados documentalmente.

Sólo serán elegibles aquellas acciones que hayan sido indicadas en el diagnóstico del organismo operador. Acciones no contempladas por los diagnósticos no son elegibles para financiamiento a través del PROME. Entre otras acciones, las referentes a eficiencia operativa y ahorro energético son las siguientes.

- Rehabilitación de líneas de conducción y/o redes de distribución, interconexión de fuentes.

- Rehabilitación de estaciones y cárcamos de bombeo de agua potable.
- Perforación y rehabilitación de pozos.
- Optimización hidráulica: Sectorización de la red de distribución, control de presiones, optimización de la capacidad de almacenamiento.
- Sistemas de telemetría.
- Búsqueda, detección y reparación de fugas.
- Reparación ó acciones de mejora para uso eficiente de la energía en motores, bombas y equipo eléctrico.
- Actualización del catastro de redes e infraestructura, y generación del sistema de información y modelación hidráulica.
- Instalación de macromedidores, incluye adquisición e inversiones complementarias que mejoren su sustentabilidad.
- Otras actividades de mejora de eficiencia física.

La Aportación Federal en esta subcomponente sería del 60% y la contraparte puede integrarse con recursos Estatales, Municipales y/o Generación Interna de Caja.

La asignación de cada OO se determinará según:

- La asignación total disponible para cada subcomponente.
- La población servida por el OO.
- Su capacidad de contraparte.
- El tipo de acciones propuestas por el OO.
- La calidad técnica y eficiencia administrativa del OO en el año anterior.

La contratación, ejecución y pagos bajo esta subcomponente, serán responsabilidad del OO correspondiente.

**Subcomponente: Pago por Resultados (Piloto)**

Esta Subcomponente busca apoyar a los organismos operadores evaluando los resultados obtenidos con la implementación de las acciones de mejoramiento de la eficiencia y no por los montos invertidos.

Además de los criterios generales de selección, se requiere:

- Haber participado en el PATME ó durante más de un año en el PROME.
- Haber mostrado buena capacidad técnica.
- Demostrar capacidad en los procesos administrativos-financieros.
- Esta Subcomponente se aplicará inicialmente en un número limitado de OO como prueba piloto.

Las acciones elegibles prioritarias deberán estar vinculadas con:

- Ahorro energético.
- Mejora de volumen facturado.
- Disminución de pérdidas físicas.

La Aportación Federal será del 60%, la contraparte puede integrarse con recursos Estatales, Municipales y/o Generación Interna de Caja. El techo de asignación de recursos será bajo los mismos principios que la Subcomponente de Inversión Clásica.

La contratación y pago por resultado de acuerdo con los precios unitarios acordados sobre la base de una propuesta elaborada por cada OO. De manera preliminar se contemplan tres indicadores de pago:

- a. Para medidas de mejora de la eficiencia energética: ahorro energético expresado en kWh/m<sup>3</sup>/mes ahorrado.
- b. Para medidas de mejora comercial: aumento en volumen medido facturado, expresado en m<sup>3</sup>/mes.
- c. Para medidas de mejora física: disminución en volumen de pérdidas de agua, expresado en m<sup>3</sup>/mes.

### 2.3.3 Otros programas institucionales

Existen otros programas institucionales. Estos son los programas del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), que se explican brevemente a continuación.

#### **BANOBRAS.**

El Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos es una institución de banca de desarrollo que se tipifica como empresa pública con participación estatal mayoritaria, cuenta con personalidad jurídica y patrimonio propios.

Su objeto es financiar o refinanciar proyectos de inversión pública o privada en infraestructura y servicios públicos, así como coadyuvar al fortalecimiento institucional de los gobiernos Federal, estatales, municipales y del Distrito Federal.

Actualmente dirige todos sus esfuerzos para fortalecer la inversión en:

- Infraestructura social básica, destinada a elevar las condiciones de vida de todas las familias y, con ello, sus capacidades y sus oportunidades de desarrollo personal, al poner a disposición de los gobiernos locales instrumentos de financiamiento para la atención de necesidades básicas de la población.
- Infraestructura para la competitividad y el desarrollo, que busca un sostenido crecimiento económico al financiar proyectos con alta rentabilidad social.

Entre sus principales objetivos están:

1. Ampliar la cobertura de estados y municipios atendidos con productos y servicios del Banco.
2. Profundizar el mercado de garantías a estados y municipios y a proyectos de infraestructura con fuente de pago propia.
3. Desarrollar el origen y el financiamiento de proyectos de infraestructura con fuente de pago propia.

Apoya básicamente a municipios, estados y asociaciones de participación pública – privada.

BANOBRAS ofrece diversos productos financieros que se ajustan a las necesidades de su sector objetivo. Los productos financieros que ofrece el Banco van desde el crédito directo tradicional hasta productos más complejos como es la estructuración de proyectos. Además, BANOBRAS opera como Banco Agente de otras fuentes de financiamientos nacionales e internacionales como el BID y el Banco Mundial entre otros. Asimismo, BANOBRAS es el fiduciario del fideicomiso más importante del país en materia de infraestructura, el Fondo Nacional de Infraestructura, con lo cual el Banco incrementa los productos con los que apoya el desarrollo de infraestructura pública.

La gama de productos financieros es amplia e incluye:

- BANOBRAS – FAIS.
- Banco Agente.
- Fondo Nacional de Infraestructura.
- Estructuración de Proyectos.
- Programa de Liquidez a Contratistas.
- Garantía Financiera.
- Créditos a Estados y Municipios.
- Programa de Reestructuración y Refinanciamiento de Deuda Municipal.
- Asistencia Técnica y Financiera.
- Servicios Fiduciarios.
- Arrendamiento Financiero.

### ***Ejemplos de macroproyectos en el sector de agua potable y saneamiento financiados por BANOBRAS***

#### ***Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Atotonilco***, Atotonilco de Tula, Hidalgo.

Apoyo a: Estados a través de: Estructuración de proyectos. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco (PTAR Atotonilco) forma parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México mediante el cual se pretende tratar el 100% de sus aguas residuales.

#### ***Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales “El Ahogado” y “Agua Prieta”***, Jalisco.

Apoyo a: Asociación público-privada a través de: Estructuración de proyectos. Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales El Ahogado y Agua Prieta forman parte del programa de Abastecimiento y Saneamiento de la Zona Conurbada de Guadalajara.

***Sistema Acueducto II, Querétaro.***

Apoyo a: Asociación público-privada a través de: estructuración de proyectos. El Acueducto II permitirá dar sustentabilidad al suministro de agua potable durante los próximos 30 años a la zona metropolitana de Querétaro que se ubica en la región semidesértica de ese Estado.

***PTAR Tenorio - Villa de Reyes, San Luis Potosí.***

Apoyo a: Asociación público-privada a través de: Estructuración de proyectos. BANOBRAS apoyó el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con recursos no recuperables del Fondo Nacional de Infraestructura.

***Planta Desaladora de Los Cabos, Baja California Sur.***

Apoyo a: Estados a través de: Estructuración de proyectos. BANOBRAS apoyó el proyecto de la Planta Desaladora de agua de mar con recursos no recuperables del Fondo Nacional de Infraestructura, así como a la empresa ganadora de la licitación.

***Proyecto Integral de Infraestructura de Agua Potable y Saneamiento Monterrey V, N.L.***

Apoyo a: Asociación público-privada a través de: Créditos a estados y municipios BANOBRAS, conjuntamente con la banca comercial, otorgó el financiamiento para el desarrollo del proyecto Integral de Infraestructura de Agua Potable y Saneamiento Monterrey.

## 3 Identificación de áreas de oportunidad

### 3.1 Caracterización energética de los sistemas de bombeo de agua municipal

De acuerdo a lo visto anteriormente, los factores principales que determinan la cantidad de energía que requiere un sistema de bombeo de agua potable son, fundamentalmente, la cantidad de agua bombeada (Gasto **Q**) y la carga dinámica de bombeo (**H**). Al término que multiplica el gasto por la carga se denomina el **Trabajo**.

Esto indica que la caracterización energética de un sistema de bombeo deberá ser en función del Trabajo de Bombeo (**TB**) necesario para extraer y hacer llegar el agua a la población.

#### 3.1.1 Propuesta de caracterización

Basado en las conclusiones de la sección anterior, se propone la siguiente caracterización de sistemas de bombeo de agua municipal.

##### Característica de Gasto

Como se vio, la cantidad de agua requerida está directamente relacionada con el tamaño de población, a mayor población, la demanda de agua crece. De esta manera se puede caracterizar los sistemas de agua potable de acuerdo al tamaño de población en tres clases principales.

- **Clase A.** Sistemas de abastecimiento para poblaciones con menos de 100,000 habitantes.
- **Clase B.** Sistemas de abastecimiento para poblaciones de entre 100,000 y 300,000 habitantes.
- **Clase C.** Sistemas de abastecimiento para poblaciones de más de 300,000 habitantes.

##### Característica de Carga

Por otro lado la carga dinámica necesaria está relacionada directamente con tres variables primordiales que son: La profundidad de disponibilidad de la captación, la distancia de la fuente de captación a la población y la topografía del terreno. Por lo que la combinación de estos tres factores nos puede dar una calificación global del Grado de Dificultad de la Carga Dinámica que influyen para determinar el Trabajo Necesario para la entrega del agua a la población de acuerdo a lo siguiente:

**Profundidad de las fuentes de abastecimiento.**- La disponibilidad del agua potable está determinada por las fuentes de abastecimiento, estas fuentes pueden ser de agua superficial o estar confinadas en acuíferos (agua subterránea). Captaciones a una gran profundidad requieren de una carga mayor de bombeo para su extracción que captaciones superficiales o que se encuentren una profundidad media. De esta manera se puede dar una calificación al

sistema de bombeo de agua, en función de la profundidad a donde se encuentra el cuerpo de agua respecto al nivel de piso, de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 20. Calificación del sistema de agua potable en función de la profundidad de la captación**

Descripción	Valor de profundidad de la captación respecto al nivel del piso	Calificación
Captaciones de agua superficial o de acuíferos poco profundos mediante sistemas de bombeo.	≤ 50 m	0
Captación de agua en acuífero confinado por medio de pozo a profundidad media.	> 50 m y ≤ 100 m	1
Captaciones de agua confinada en acuíferos por medio de pozos de mayor profundidad.	> 100 m	2

Fuente: Elaboración del autor

**Distancia de las fuentes de abastecimiento.**- También la disponibilidad del agua potable está determinada por la distancia horizontal a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento, para hacerla llegar a la población. Cuando las captaciones se encuentran en zonas alejadas a la población, se debe transportar el agua grandes distancias por medio de acueductos requieren una carga dinámica grande para vencer la fricción que ejerce el líquido sobre las paredes del conducto, mientras que cuando las captaciones se encuentran cerca de la población o dentro de la misma esta carga puede ser mucho menor. De esta manera se puede dar una calificación al sistema de bombeo de agua, en función de la distancia a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento con respecto a la población servida, de acuerdo a la tabla siguiente.

**Tabla 21. Calificación del sistema de agua potable en función de la distancia a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento**

Descripción	Valor de la distancia de la captación respecto al nivel del piso	Calificación
Fuentes de abastecimiento dispersas dentro de la ciudad o concentradas en las afueras o límites urbanos.	En sitio ó ≤ 5,000 m	0
Fuentes de abastecimiento concentradas a las afueras de la ciudad a una distancia media donde se utilicen líneas de conducción primaria de longitud corta.	> 5,000 m ≤ 10,000 m	1
Fuentes de abastecimiento alejadas una gran distancia de la población a la que sirven, y que por lo regular se requiere de acueductos de gran longitud.	> 10,000 m	2

Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

**Topografía.**- La topografía es la tercera componente que determina la carga dinámica requerida, siendo ésta una característica importante de los sistemas de agua potable.

<sup>4</sup> La información, diagramas e ilustraciones presentadas son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de CONUEE y/o la GIZ.

Poblaciones que se encuentran en terrenos con poca diferencia topográfica requieren menor carga dinámica para la distribución del líquido que poblaciones cuya topografía presenta grandes desniveles y cuya carga estática a vencer por el equipo de bombeo es mayor para hacer llegar el agua a las zonas más altas. El desnivel topográfico se determina restando la elevación del punto más alto al que se entrega el agua, a la elevación del punto más bajo, ya sea de entrega o de captación del sistema de agua. De esta manera se puede dar una calificación al sistema de bombeo de agua, en función del desnivel topográfico máximo del sitio, de acuerdo a la tabla que se presenta a continuación.

**Tabla 22. Calificación del sistema de agua potable en función de la distancia a la que se encuentran las fuentes de abastecimiento**

Descripción	Valor de desnivel máximo.	Calificación
Topografía en la zona de distribución del agua con pocos lomeríos o llana.	< 50 m	<b>0</b>
Topografía con lomeríos de altura media	> 50 y < 100	<b>1</b>
Topografía donde parte de la población se encuentra asentada en la falda de cerros o con lomas importantes.	> 100 y < 200	<b>2</b>
Topografía accidentada con barrancas y cerros donde la población se ha asentado tanto en las zonas bajas como en la cima de cerros altos.	> 200	<b>3</b>

Fuente: Elaboración del autor

Para obtener una calificación del grado de dificultad del sistema de agua potable tomando en cuenta estos factores y de esta manera poder realizar una clasificación, se deberán calificar cada uno de estos factores para el sistema de agua a evaluar de acuerdo a lo descrito en las tablas anteriores. La calificación final será la suma de los valores y a ésta calificación se le denominará Grado de Dificultad de la Carga Dinámica. La calificación final de un organismo puede variar con valores de 0 a 7, estos valores del grado de dificultad se pueden agrupar con fines de simplificación, en rangos definiendo así tres tipos de sistemas de agua potable en función del Grado de Dificultad de la Carga Dinámica de la siguiente manera:

**Tabla 23. Clasificación del tipo de sistema de bombeo de acuerdo a la evaluación del grado de dificultad de la carga dinámica**

Tipo	Grado de Dificultad de la Carga Dinámica
I	0 y 1
II	2, 3 y 4
III	5, 6 y 7

Fuente: Elaboración del autor

De esta manera la caracterización de los sistemas de bombeo de agua potable municipal será en función del Trabajo Necesario para entregar el líquido al usuario final, y estará definido por la Clase de organismo de acuerdo al tamaño de población servida y al Tipo, que define el grado de dificultad de la carga dinámica para la entrega del agua a la población. A continuación se

muestra una tabla resumen de la caracterización de los sistemas de bombeo de agua municipal, de acuerdo a las características definidas anteriormente.

Para validar la caracterización descrita anteriormente, y tomando en cuenta que como base de esta caracterización es el trabajo de bombeo, es decir la relación gasto–carga. Tomando datos tanto del censo de población como de las cargas promedio (topografía) en cada municipio, así como de la dotación necesaria, se puede estimar un trabajo de bombeo en kW para cada municipio.

**Tabla 24. Matriz de caracterización de los sistemas de bombeo de agua municipal**

		TIPO		
		I	II	III
CLASE	A	Población < 100,000 hab. Grado de Dificultad: 0 y 1	Población < 100,000 hab. Grado de Dificultad: 2, 3 y 4	Población < 100,000 hab. Grado de Dificultad: 5, 6 y 7
	B	Población de 100,000 a 300,000 hab. Grado de Dificultad: 0 y 1	Población: de 100,000 a 300,000 hab. Grado de Dificultad: 2, 3 y 4	Población: de 100,000 a 300,000 hab. Grado de Dificultad: 5, 6 y 7
	C	Población > 300,000 hab. Grado de Dificultad: 0 y 1	Población > 300,000 hab. Grado de Dificultad: 2, 3 y 4	Población > 300,000 hab. Grado de Dificultad: 5, 6 y 7

Fuente: Elaboración del autor

**Tabla 25. Trabajo de bombeo promedio estimado (en kW) para los municipios contenidos según la matriz de caracterización propuesta**

Trabajo de Bombeo en kW		Tipo		
		I	II	III
Clase	A	12.98	47.44	78.80
	B	171.66	358.56	885.50
	C	348.02	1,885.27	16,000.32

Fuente: Elaboración del autor

**Tabla 26. Desglose del trabajo de bombeo promedio estimado por tamaño de municipio**

Clase	Promedio General		I		II		III		Tamaño del municipio
	# Mun.	kW promedio	# Mun.	kW	# Mun	kW	# Mun	kW	
A	2, 252	37.95	737	7.57	577	31.56	285	35.09	Menor a 20 000
			188	17.56	169	73.71	465	109.63	De 20 000 a 50 000
			85	49.80	68	116.87	35	339.65	De 50 000 a 100 000
B	121	296.28	33	61.76	17	268.04	12	459.27	De 100 000 a 150 000
			30	82.56	21	431.84	25	1,524.84	de 150 000 a 300 000
C	66	2,279.13	14	209.39	8	1,028.74	3	3,606.93	De 300 000 a 500 000
			13	389.50	17	1,764.69			De 500 000 a 1 000 000
			2	1,048.72	7	3,157.00	2	34,590.40	Más de 1 000 000

Fuente: Elaboración del autor

Agrupando los municipios de acuerdo a la caracterización y calificación descrita de forma estimativa, se puede obtener un promedio del trabajo de bombeo para cada Clase-Tipo de sistema de bombeo. En las Tablas 25 y 26 se muestran los promedios del trabajo de bombeo obtenidos de acuerdo a la caracterización descrita. Se puede concluir lo siguiente:

- El trabajo de bombeo en kW se comporta de forma incremental hacia la derecha y hacia abajo de acuerdo a la relación Clase-Tipo

De esta manera se puede deducir que los criterios utilizados para la caracterización son adecuados, y se puede obtener de manera general con las limitantes de la información base que se tienen, que el comportamiento del universo de los sistemas de agua potable municipal a nivel nacional tendrían una caracterización de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 27. Caracterización del total de municipios (universo)**

Nº Municipios		Tipo			Total
		I	II	III	
Clase	A	1,010	814	428	<b>2,252</b>
	B	63	38	20	<b>121</b>
	C	29	32	5	<b>66</b>
Total		<b>1,102</b>	<b>884</b>	<b>453</b>	<b>2,439</b>

Fuente: Elaboración del autor

A manera de ejemplo y haciendo uso de los datos que Watergy México tiene de algunos organismos operadores, a continuación en la Tabla, se presenta la clasificación de 30 organismos operadores en Clase- Tipo, según lo descrito anteriormente:

**Tabla 28. Matriz de caracterización para una muestra de municipios**

		TIPO		
		I	II	III
CLASE	A	Tejalpa, Mor	Acámbaro, GTO Lerdo, DGO Teoloyucán, Edo. Méx.	Apizaco, TLAX. Matamoros, COAH
	B	Chalco, Edo. Méx. Chetumal, QROO	Gómez Palacio, DGO Guaymas, SON La Paz, Edo. Méx. Metepec, MOR Monclova - Frontera, COHA	Hidalgo del Parral, CHI Nogales, SON
	C	Matamoros, TAM Nezahualcóyotl, Edo. Méx. Valle de Chalco, Edo. Méx.	Chimalhuacán, Edo. Méx. Coacalco, Edo. Méx. Cuautitlán, Edo. Méx. Durango, DRG Ixtapaluca, Edo. Méx. Sierra de Santa Catarina, D.F. Tecámac, Edo. Méx. Toluca, Edo. Méx. Torreón, COAH Tultitlán, Edo. Méx.	Acapulco, GRO Tijuana, BC Cutzamala, GRO Cuernavaca, MOR

Fuente: Elaboración del autor

En la siguiente tabla se presenta la información fuente empleada para realizar esta clasificación. Se omitieron los organismos de Acapulco, Tijuana y Cutzamala.

**Tabla 29. Ejemplo de metodología para caracterización de una muestra de municipios**

Organismo	Hab.	CLAS E	LLC <sup>1</sup> (m)	DM <sup>2</sup> (m)	PPND <sup>3</sup> (m)	Calificación del grado de dificultad de la carga dinámica.				TIPO
						PC <sup>4</sup> (m)	DF (m)	T (m)	Total	
Acámbaro, GTO	55,889	A	en sitio	174	46.66	0	0	2	2	II
Apizaco, TLAX	83,083	A	10,125	101	75.25	1	2	2	5	III
Chalco, EDO. MÉX.	296,013	B	en sitio	22	60.25	1	0	0	1	I
Chetumal, QROO	136,825	B	en sitio	14	36.51	0	0	0	0	I
Chimalhuacán, EDO. MÉX.	604,197	C	en sitio	98	59.68	1	0	1	2	II
Coacalco, EDO. MÉX.	357,429	C	en sitio	54	91.27	1	0	1	2	II
Cuautitlán, EDO. MÉX.	572,724	C	en sitio	42	130.30	2	0	0	2	II
Cuernavaca, MOR	336,335	C	en sitio	590	110.72	2	0	3	5	III
Durango, DRG	460,578	C	en sitio	166	59.94	1	0	2	3	II
Gómez Palacio, DGO	257,042	B	en sitio	70	151.66	2	0	1	3	II
Guaymas, SON	135,727	B	122,700	87	41.27	0	2	1	3	II
Hidalgo del Parral, CHI	107,686	B	25,088	159	123.80	2	2	2	6	III
Ixtapaluca, EDO. MÉX.	493,388	C	en sitio	150	124.29	2	0	2	4	II
La Paz, EDO. MÉX.	267,428	B	en sitio	120	66.13	1	0	2	3	II
Lerdo, DGO	90,521	A	6,235	49	90.89	1	1	0	2	II
Matamoros, COAH	55,612	A	18,962	60	154.62	2	2	1	5	III
Matamoros, TAM	422,711	C	en sitio	7	2.50	0	0	0	0	I
Metepec, MOR	206,005	B	en sitio	202	77.50	1	0	3	4	II
Monclova - Frontera, COHA	206,266	B	6,895	199	74.94	1	1	2	4	II
Monclova Sur, COAH	54,116	A	7,256	106	88.30	1	1	2	4	II
Nezahualcóyotl, EDO. MÉX.	1,311,607	C	en sitio	24	57.67	1	0	0	1	I
Nogales, SON	192,767	B	7,950	221	79.78	1	1	3	5	III
Sierra de Sta. Catarina, D.F.	405,096	C	en sitio	251	81.82	1	0	3	4	II
Tecámac, EDO. MÉX.	338,218	C	en sitio	106	113.21	2	0	2	4	II
Tejalpa, MOR	24,370	A	en sitio	62	44.50	0	0	1	1	I
Teoloyucán, EDO. MÉX.	84,750	A	en sitio	152	132.88	2	0	2	4	II
Toluca, EDO MEX	801,939	C	en sitio	231	84.20	1	0	3	4	II
Torreón, COAH	574,800	C	en sitio	39	170.78	2	0	0	2	II
Tultitlán, EDO. MÉX.	543,797	C	en sitio	122	117.46	2	0	2	4	II
Valle de Chalco, EDO. MÉX.	382,121	C	en sitio	45	64.07	1	0	0	1	I
Cuernavaca, MOR	336,335	C	en sitio	590	110.72	2	0	3	5	III

<sup>1</sup> Longitud de las Líneas de Conducción    <sup>2</sup> Desnivel Máximo    <sup>3</sup> Profundidad Promedio del Nivel Dinámico  
<sup>4</sup> Profundidad de captación    <sup>5</sup> Distancia a la Fuente    <sup>6</sup> Topografía.

Fuente: Elaboración del autor.

La caracterización de los sistemas de bombeo por este método genera resultados confiables y su aplicación es rápida cuando se conoce la información específica para cada municipio.

## 3.2 Cuantificación de potenciales de ahorro

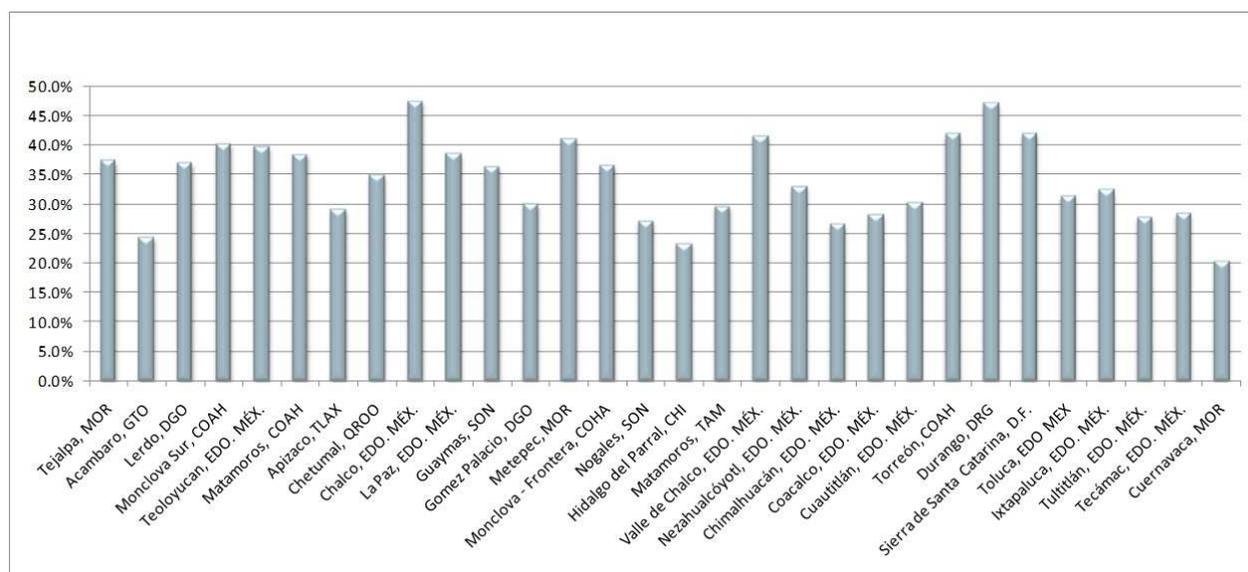
Al aplicar la metodología descrita anteriormente se puede obtener un potencial de ahorro significativo. La experiencia del autor muestra que en los organismos operadores donde se han realizado proyectos de eficiencia energética con un enfoque integral los potenciales de ahorro detectados son significativamente mayores que en aquéllos donde el enfoque se ha limitado a considerar sólo el sistema electromecánico (motores y bombas).

### 3.2.1 Consideraciones base para el cálculo del potencial de ahorro

En la Tabla 30 y Figura 14 se muestran los potenciales de ahorro calculados por el autor para los organismos operadores donde se ha aplicado la metodología integral propuesta, tanto en proyectos que sólo contemplan la eficiencia de los equipos como de los proyectos que contemplan una eficiencia integral.

Como se puede observar, el potencial de ahorro de energía al realizar proyectos que integran la operación hidráulica puede ser de un 25% hasta un 50% mayor que si sólo se realizan proyectos de eficiencia puntuales en los equipos de bombeo. Si bien pueden ser importantes las particularidades que presenta cada organismo operador, es posible calcular un promedio del potencial de ahorro agrupando los proyectos de acuerdo a las características de sus sistemas de bombeo.

Figura 14. Porcentaje de ahorro potencial en algunos proyectos integrales



Fuente: Elaboración del autor.

A continuación se presentan algunas cifras con fines ilustrativos.

**Tabla 30. Potencial de ahorro en la muestra de proyectos realizados por el autor**

Organismo	Ahorro Eficiencia Energética	Ahorro Eficiencia Hidráulica	Ahorro proyecto de eficiencia integral
Tejalpa, MOR	19.1%	18.2%	37.3%
Acámbaro, GTO	16.3%	8.0%	24.3%
Lerdo, DGO	25.0%	12.0%	37.0%
Monclova Sur, COAH	25.4%	14.8%	40.2%
Teoloyucan, EDO. MÉX.	12.5%	27.3%	39.8%
Matamoros, COAH	27.4%	11.0%	38.4%
Apizaco, TLAX	21.0%	8.0%	29.0%
Chetumal, QROO	29.3%	5.6%	34.9%
Chalco, EDO. MÉX.	38.2%	9.2%	47.4%
La Paz, EDO. MÉX.	30.3%	8.1%	38.5%
Guaymas, SON	19.1%	17.2%	36.3%
Gómez Palacio, DGO	29.9%	5.0%	29.9%
Metepec, MOR	33.0%	8.0%	41.0%
Monclova - Frontera, COHA	22.9%	13.5%	36.5%
Nogales, SON	18.1%	9.0%	27.1%
Hidalgo del Parral, CHI	20.0%	3.2%	23.3%
Matamoros, TAM	26.0%	3.5%	29.5%
Valle de Chalco, EDO. MÉX.	36.7%	4.8%	41.6%
Nezahualcóyotl, EDO. MÉX.	27.3%	5.6%	32.9%
Chimalhuacán, EDO. MÉX.	18.6%	8.1%	26.6%
Coacalco, EDO. MÉX.	17.2%	10.9%	28.1%
Cuautitlán, EDO. MÉX.	7.7%	22.4%	30.1%
Torreón, COAH	34.9%	7.0%	41.9%
Durango, DRG	36.5%	10.6%	47.1%
Sierra de Santa Catarina, D.F.	29.0%	13.0%	42.0%
Toluca, EDO MEX	18.1%	13.3%	31.4%
Ixtapaluca, EDO. MÉX.	21.5%	10.9%	32.4%
Tultitlán, EDO. MÉX.	18.2%	9.5%	27.6%
Tecámac, EDO. MÉX.	24.0%	4.4%	28.4%
Cuernavaca, MOR	15.1%	5.3%	20.4%

Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

De esta manera en las Tablas 31 y 32 se muestra el potencial de ahorro promedio de los organismos operadores que han realizado proyectos, tanto para medidas puramente de eficiencia energética, como para medidas que contemplan una mejora integral de los sistemas de agua.

**Tabla 31. Potencial de ahorro de energía en proyectos de eficiencia energética realizados por el consultor, de acuerdo con la caracterización previa**

% de Ahorro de Energía		TIPO			Total
		I	II	III	
CLASE	A	19.1%	19.8%	27.4%	<b>21.0%</b>
	B	38.2%	28.7%	19.1%	<b>27.6%</b>
	C	30.0%	22.6%	15.1%	<b>23.6%</b>
Total		<b>29.5%</b>	<b>23.9%</b>	<b>20.2%</b>	<b>24.3%</b>

Fuente: Elaboración del autor

**Tabla 32. Potencial de ahorro de energía en proyectos de eficiencia integral (energética e hidráulica), de acuerdo con la caracterización previa**

% de Ahorro de Energía		TIPO			Total
		I	II	III	
CLASE	A	37.3%	35.3%	38.4%	<b>36.2%</b>
	B	47.4%	41.7%	25.2%	<b>38.6%</b>
	C	34.6%	32.9%	20.4%	<b>32.4%</b>
Total		<b>37.7%</b>	<b>36.0%</b>	<b>27.3%</b>	<b>35.1%</b>

Fuente: Elaboración del autor

Se observa que el potencial de ahorro general con medidas de eficiencia energética en equipos de bombeo es hasta de un 24.3%, mientras que al aplicar medidas de eficiencia hidráulica integradas al ahorro de energía pueden llegar a tener un potencial de ahorro hasta de un 35.1%; una diferencia de casi 11%.

El potencial de ahorro mencionado se refiere al potencial calculado a partir de los proyectos de eficiencia y no deriva de la implementación de los mismos. Sin embargo, cuando las medidas propuestas se han implementado en campo, como ha sido el caso en Monclova, Coahuila, ha sido posible constatar ahorros reales de alrededor de 27.3% en la factura eléctrica a 3 años de su implementación. En el caso de Monclova en particular, los ahorros potenciales calculados durante la etapa de diagnóstico se presentan a continuación.

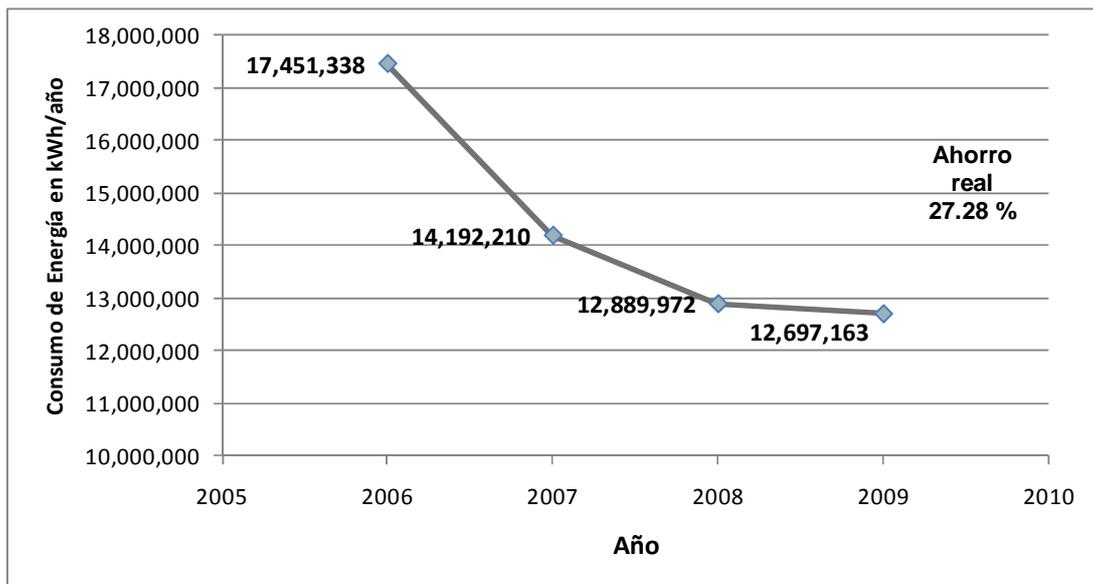
**Tabla 33. Potencial de ahorro en el proyecto realizado por el autor en Monclova, Coahuila**

Medida de Ahorro	% Ahorro estimado
Optimización del factor de potencia y eficiencias electromecánicas	18 %
Control de la demanda en hora punta	4.9%
Ahorros por optimización de la operación hidráulica	13.5%
<b>Total de ahorros en proyecto integral</b>	<b>36.5%</b>

Fuente: Elaboración del autor

El organismo operador se dio a la tarea de implementar con recursos propios los proyectos sugeridos por el consultor en un periodo de tres años, donde se obtuvo una disminución real en el consumo de energía eléctrica de acuerdo a lo mostrado en la Figura 15.

**Figura 15. Consumo real de energía eléctrica en Monclova, Coahuila, en el periodo de implementación de medidas de eficiencia integral**



Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

La implementación de los proyectos ha repercutido en un ahorro en términos reales sobre el consumo de energía facturada del 27.28%, lo cual ha sido menor al 35.1% originalmente estimado. Cabe mencionar que la etapa de implementación se encuentra al 80%, por lo que aún están pendientes de realizarse algunos trabajos que podrían incrementar dicho ahorro.

Con base en los ahorros promedio obtenidos en los proyectos realizados por el consultor, y aplicando un factor de confiabilidad entre la estimación teórica y la real, se puede decir que:

- **El ahorro de energía real derivado de la implementación de medidas de eficiencia electromecánica pueden alcanzar un 18% en promedio.**
- **El ahorro de energía real derivado de la implementación de medidas de eficiencia hidráulica pueden alcanzar un 28% en promedio.**

Estos porcentajes de ahorro al consumo de energía pueden ser aplicados a la gran mayoría de los organismos operadores a nivel nacional para obtener los ahorros correspondientes.

### 3.3 Problemática y barreras existentes

De acuerdo a la experiencia del consultor, los sistemas de bombeo que operan en la mayoría de los sistemas municipales de abastecimiento y tratamiento de agua a las poblaciones en México, y sus instalaciones electromecánicas asociadas, operan en condiciones de baja eficiencia comparada con las recomendadas por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relacionadas con estos sistemas, y más aun, con las eficiencias alcanzables actualmente con tecnologías comercialmente disponibles.

La baja eficiencia de los sistemas de bombeo en la mayoría de los casos estudiados se debe principalmente a factores como: escaso mantenimiento preventivo de los equipos y sistemas asociados, falta de procedimientos ordenados para la selección de los mismos, desconocimiento de normas y falta de capacitación técnica del personal operativo.

Además de esto, existe una problemática crítica en la operación de los sistemas de abastecimiento. Los inadecuados esquemas de operación, falta de control de presiones y fugas en las redes de distribución, entre otros, incrementan sustancialmente los índices energéticos con que operan estos sistemas. Cada litro de agua que pasa a través del sistema de abastecimiento representa un costo importante de energía. Por ende, además de las pérdidas de agua en forma de fugas, robo y desperdicio de los consumidores, la deficiente operación hidráulica de los sistemas de agua potable, afectan directamente la cantidad de energía consumida por los sistemas de bombeo. Los principales factores en este sentido se pueden encuadrar en los siguientes conceptos:

- Dotaciones altas debidas a gran porcentaje de fugas.
- Tandeos debido a inadecuada distribución del agua disponible ( Índices de continuidad de servicio bajos , en promedio de 6-10 hrs/día).
- Escaso o nulo control de presiones en la red.
- Operación empírica de la red.
- Infraestructura instalada sub-utilizada.
- Poco uso de tecnología apropiada.

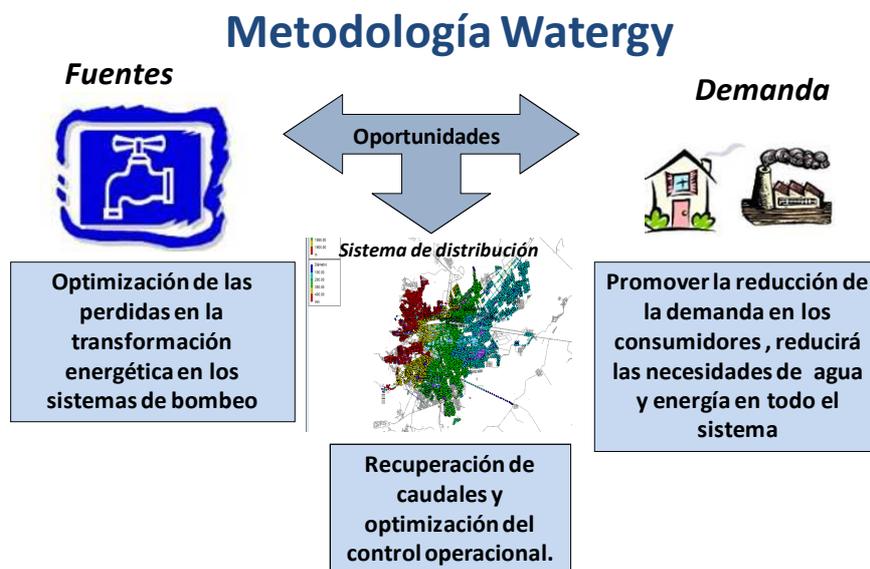
Estos factores generan que los consumos energéticos y sus costos respectivos se incrementen e impacten de manera significativa en los costos de operación globales de los sistemas municipales de agua y saneamiento, comúnmente llamados Organismos Operadores y represente una amenaza a su sustentabilidad financiera. Los datos obtenidos en los proyectos desarrollados por el por consultor en México muestran que estos costos impactan en promedio en un 40 % sus ingresos.

### 3.4 Identificación de mejores prácticas y su aplicabilidad

En la experiencia del consultor, se ha demostrado que el máximo potencial de ahorro de energía se logra cuando se planean en forma conjunta las actividades para ahorrar agua y energía. Por ejemplo, es probable que cambiar una bomba por otra más eficiente ahorre energía, y también es viable que un programa de reducción de fugas puede ahorrar agua y reducir las pérdidas de presión dando como resultado ahorros de energía, debido a un menor trabajo de bombeo. Si las dos actividades se coordinan conjuntamente a través de un programa de uso eficiente de agua y energía, la reducción de fugas por control adecuado de la presión en las redes, permitirá que se adquieran bombas más pequeñas y se mantenga el mismo servicio, lo que significará ahorros de energía aun mayores.

La propuesta de Watergy se basa en aprovechar las oportunidades de eficiencia energética en el suministro (extracción y bombeo de agua) pero también reducir las pérdidas de agua en la red de distribución y optimizar la operación en dicha red. Adicionalmente, se propone alentar un uso más eficiente del agua del lado del consumo final. Estas dos acciones incrementan las posibilidades de ahorro de energía así como el servicio que se presta a la población al contar con más agua disponible en las redes además de otros beneficios como la reducción de costos. En la figura se muestra en forma esquemática la metodología propuesta.

Figura 16. Esquema general de la metodología propuesta de eficiencia energética integral



Fuente: Elaboración del autor

Este concepto comprende un amplio espectro de actividades relacionadas con el uso eficiente del agua y de la energía y las resultantes de administrar conjuntamente estos recursos. Al entender la estrecha relación existente entre el agua y la energía dentro de un sistema de suministro de agua, los Organismos Operadores de servicios de agua tienen la posibilidad de adaptar sus políticas y prácticas para mejorar la eficiencia, lo que no sucede si se abordan por separado las necesidades de agua y energía.

Para contribuir a resolver esta problemática, se han desarrollado técnicas y procedimientos de ingeniería que realizados de manera ordenada, constituyen una metodología útil para desarrollar un proyecto de eficiencia energética integral de los sistemas de bombeo municipales.

Dicha metodología pretende generar una alternativa para determinar y aprovechar al máximo las oportunidades de ahorro de energía, fundamental para la optimización de costos operativos de los OO, pero que al mismo tiempo buscando lograr otros beneficios prioritarios para los sistemas de agua, con lo cual se logra superar una barrera importante que es la aceptación de parte de los OO de los programas de ahorro de energía. Las herramientas básicas de ingeniería que utiliza esta metodología son las siguientes.

**Figura 17. Herramientas tecnológicas para aplicar la metodología integral Watergy**



Fuente: Elaboración del autor

Los beneficios principales de la aplicación de esta metodología son, entre otros:

- Maximizar reducción de costos vía el ahorro de energía. Esto se logra minimizando las deficiencias en el diseño y operación de las redes de distribución, por ejemplo:
  - El desbalance volumétrico en la asignación de caudales por zonas, ocasiona la necesidad de suministro discontinuo a las mismas (tandeo), y bajas eficiencias electromecánicas por los equipos de bombeo por operarlos fuera de su zona óptima de diseño y un mayor número de horas de operación de los mismos.
  - La falta de control de presiones por carencia de dispositivos de control como válvulas reguladoras o variadores de frecuencia, ocasiona excesivas fugas de agua y por ende mayor consumo energético.

- Carencia o ineficiencia en el manejo de los tanques de regulación y falta de esquemas de sectorización, ocasiona, mayor potencia de bombeo.
- Mejorar niveles de cobertura y servicio a través del mejor aprovechamiento del agua producida.
- Aprovechar al máximo la infraestructura existente optimizando necesidades de inversión en nueva infraestructura.
- Reducir los impactos medioambientales.
  - Reducción de emisiones.
  - Agotamiento de acuíferos.

Con todo esto la aplicación de mejores prácticas en la operación de los sistemas de bombeo, debe hacerse con un sentido integral, para que se tengan resultados concretos que no solo buscan un menor consumo de energía, sino que mejoran la operación del sistema de bombeo en una forma completa en todas sus componentes.

### **3.5 Diagnóstico energético**

El Diagnóstico Energético (DEN) es la aplicación de un conjunto de técnicas para determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía en un sistema de agua potable, además de especificar cuanta de esa energía es desperdiciada.

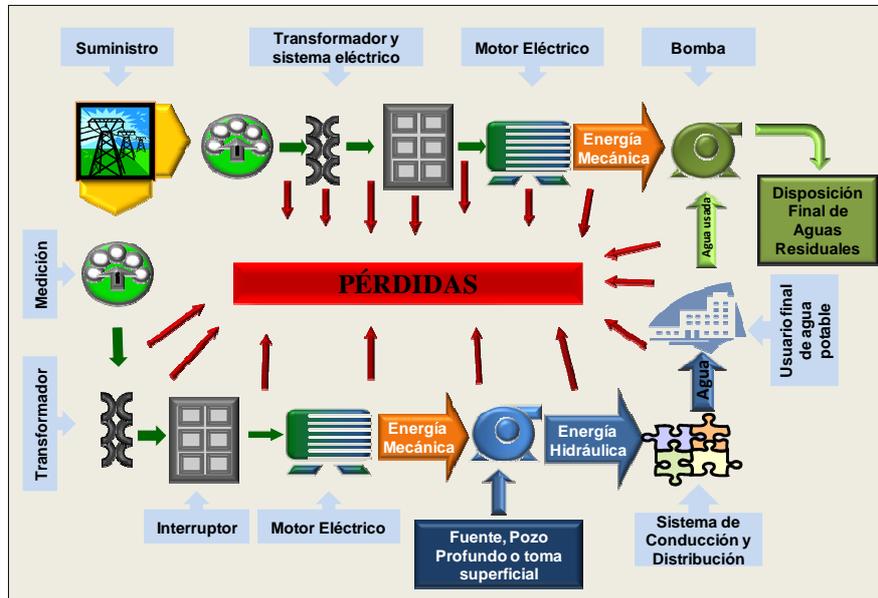
En esta sección, se describen las características más importantes y los principales aspectos a evaluar así como la metodología general a aplicar durante el DEN, para cada componente de la cadena energética de una instalación típica de los sistemas de agua potable y saneamiento, que será útil para el desarrollo del balance de pérdidas, la identificación de principales oportunidades de ahorro de energía y la cartera de proyectos de ahorro posterior.

Los principales elementos para el suministro y transformación energética, necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua, se muestran esquemáticamente en la Figura 18, en la cual podemos ver la cadena de equipos desde el medidor de consumo del suministrador de energía, pasando por el transformador, el centro de control del motor y sus elementos correspondientes, el motor eléctrico, la bomba y la disposición final del agua potable y residual.

Basado en la distribución de pérdidas descrita anteriormente, el DEN en un sistema de agua potable debe incluir el análisis ordenado de los sistemas típicos donde se consume la energía, que en orden secuencial son:

- Suministro energético. Incluyendo las características de la acometida y del contrato de suministro.
- Subestación eléctrica y transformadores.
- Sistema electromotriz incluyendo el motor eléctrico.
- Sistemas de bombeo.
- Sistema de distribución incluyendo todos los elementos que compone las redes de distribución como conducciones, tanques de regulación y otros accesorios.

Figura 18. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento



Fuente: Elaboración del autor.

De esta manera se debe entender el DEN como la etapa donde se determina el Balance de Energía de los sistemas de bombeo, donde se deberá calcular el consumo de energía en sus componentes de mayor consumo y con ello enfocar las soluciones y medidas de ahorro en forma dirigida.

### Metodología de evaluación energética de los principales componentes consumidores de energía

Para determinar el balance de energía se deben realizar los cálculos de pérdida de energía en los siguientes componentes y orden:

- Cálculo de pérdidas en el sistema eléctrico (transformadores, factor de potencia y conductores eléctricos).
- Cálculo de pérdidas y eficiencia del motor.
- Cálculo de pérdidas y eficiencia de la bomba.
- Evaluación de la Eficiencia Electromecánica.
- Cálculo de pérdidas de carga en tuberías y en la red de distribución.
- Análisis de aspectos de mantenimiento de instalaciones electromecánicas.

A continuación se explica cada una de ellas.

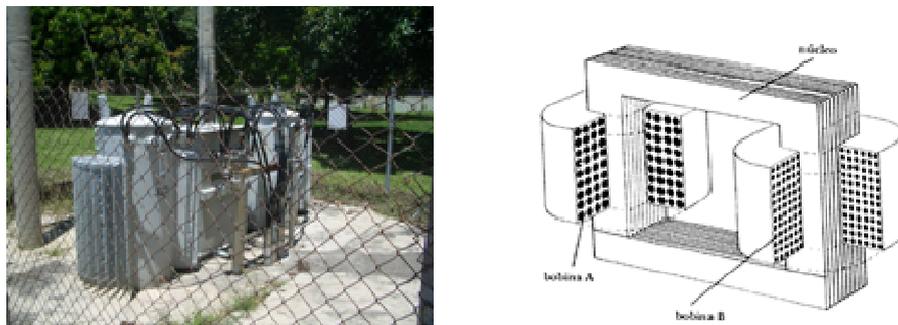
#### ***Cálculo de pérdidas en el sistema eléctrico (transformadores, factor de potencia y conductores eléctricos)***

El primer paso es determinar las pérdidas de energía en los componentes del sistema eléctrico, transformador, evaluación del factor de potencia y pérdidas en los conductores eléctricos.

### I. Cálculo de pérdidas en el transformador

La subestación eléctrica es el espacio donde se aloja el primer elemento de acondicionamiento del suministro eléctrico hacia el sistema electromecánico al interior de las instalaciones y que es el transformador eléctrico, el cual tiene la función de reducir la tensión de la red a los valores que requieren los equipos. En la Figura 19 se muestran imágenes representativas de este tipo de componentes.

Figura 19. Componentes típicos de una subestación



Fuente: Watergy México, A.C. y Manual de operación Byron Jackson.

Los principales aspectos a observar y evaluar durante el DEN, son las condiciones de operación del transformador eléctrico y determinar las pérdidas energéticas por disipación en sus componentes.

**A. Evaluación de pérdidas.** Las pérdidas en un transformador son de dos clases: Pérdidas en el entrehierro (núcleo) y pérdidas en el embobinado (cobre).

Las pérdidas en el núcleo (PFe): Son las pérdidas que se generan en el núcleo ferromagnético debido a dos factores fundamentales: la energía mínima de magnetización y las corrientes parásitas que circulan por el núcleo debidas al flujo magnético presente y fallas en el material ferromagnético. Estas pérdidas son independientes de la carga a la que es sometido el transformador y prácticamente invariables a tensión y frecuencia constantes. Es un dato que normalmente suministra el proveedor.

Las pérdidas en el cobre (PCu): Son las que se generan en los devanados del transformador, al circular las corrientes por los mismos. Su valor está determinado por el cuadrado de la corriente y la resistencia eléctrica de los devanados y están directamente relacionadas con el factor de potencia.

Las pérdidas totales son iguales a las pérdidas en el núcleo más las pérdidas en el cobre a plena carga, corregidas por el índice de carga (la potencia a la carga dividida por la potencia a plena carga) al cuadrado.

**B. Inspección de la Temperatura de operación.** El otro factor que incrementa el nivel de pérdidas, es la ineficiente remoción de calor que se refleja en alta temperatura de operación por

mal funcionamiento en el sistema de enfriamiento. Para determinar estas pérdidas se pueden utilizar las tablas generales o las que sean proporcionadas por el fabricante, donde se observa el % de pérdidas que se debe tomar en cuenta en función de la temperatura de trabajo del transformador.

### **Análisis del factor de potencia**

La gran mayoría de los equipos eléctricos, particularmente los motores eléctricos tipo jaula de ardilla de inducción que son los utilizados en los sistemas de agua y saneamiento, consumen tanto potencia activa o de trabajo  $P_a$  (kW), que es la potencia que el equipo convierte en trabajo útil y potencia reactiva o no productiva  $P_r$  (kVAr), que proporcionan el flujo magnético necesario para el funcionamiento del equipo, pero que no se transforma en trabajo útil. La suma de ambas se conoce como Potencia total aparente  $S$  (kVA).

Ambos valores se miden durante la campaña de medición de parámetros eléctricos descrita antes.

### **Causas y efectos del bajo factor de potencia**

La influencia que tiene el factor de potencia sobre el valor de la corriente demandada en el sistema, ocasiona pérdidas, entre las que destaca.

a) Aumento de las pérdidas por efecto Joule, las cuales son en función del cuadrado de la corriente, estas pérdidas se manifestarán en:

- Los conductores entre el medidor y el usuario.
- Los embobinados de los transformadores de distribución.
- Dispositivos de operación y protección.

b) Un aumento en la caída de voltaje resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas que sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

c) Incremento de la potencia aparente, con lo que se reduce la capacidad de carga instalada. Esto es importante en el caso de los transformadores de distribución.

Estas pérdidas afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por esta razón se penaliza al usuario haciendo que pague más por su consumo de energía eléctrica. En México, el valor establecido de penalización y bonificación es del 0.9 (90%). Debajo de ese valor se paga una penalización y por encima de éste se da una bonificación.

El factor de potencia en los motores de inducción depende de su capacidad (HP), y del factor de carga (FC) al cual esté trabajando. Luego entonces, durante el DEN se determinará si el factor de potencia del motor está por debajo del que le correspondería dado el número de polos, su capacidad nominal y el factor de carga al cual está trabajando. De ser así esto será un indicativo de que el motor se encuentra en mal estado, por lo que aplicaría un mantenimiento al motor, o la sustitución del mismo por un motor nuevo de alta eficiencia.

También se deberán observar las instalaciones para ver si cuenta con algún sistema para compensar el Factor de Potencia, y donde se encuentran instalados.

## II. Cálculo de pérdidas en conductores eléctricos

Al conjunto integrado por conductores, transformadores de control, protecciones, arrancadores, controladores y demás elementos que suministran energía a los equipos que transforman energía eléctrica en energía mecánica (motores), se le conoce como sistemas electromotriz. En la Figura 20 se muestran imágenes de estos componentes a manera de ejemplo.

**Figura 20. Componentes típicos del sistema electromotriz de un sistema de bombeo**



Fuente: Watergy México, A.C.

Del conjunto de estos sistemas, donde se debe tener mayor cuidado en la verificación y levantamiento de datos durante el Diagnóstico Energético es en los conductores eléctricos. Los conductores se comportan como una resistencia pura; esto es, absorben potencia de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P = R \times I^2$$

Donde:

P = las pérdidas por efecto joule (W).

R = la resistencia del conductor expresada (Ohms).

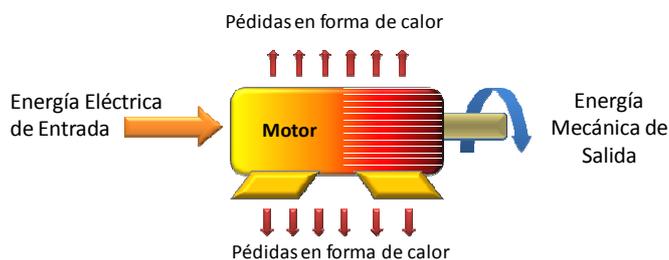
I = la corriente circulando en el conductor (Amperio).

Asimismo, esta resistencia genera una caída de voltaje que se calcula en función de la corriente. La evaluación energética como parte del Diagnóstico Energético consiste en calcular las pérdidas en el conductor de acuerdo a la resistencia dependiendo del tipo y calibre del cable para lo cual el fabricante expide la tabla correspondiente.

## III. Cálculo de pérdidas y eficiencia del motor

Los motores eléctricos son los equipos encargados de convertir la energía eléctrica en energía mecánica giratoria que se transfiere a la carga cualquiera que esta sea. La Figura 21 muestra el flujo de energías correspondiente a un motor eléctrico.

**Figura 21. Flujo de energías en un motor eléctrico**



Fuente: Elaboración del autor.

En el caso de los sistemas de agua, la carga típica son los sistemas de bombeo, aunque también existen otro tipo de cargas como los ventiladores, sopladores, agitadores y transportadores usados en las plantas de tratamiento de agua residual y potabilizadoras.

Del universo de motores eléctricos, es sin duda, el motor de inducción el más popular de todos, debido a su gran versatilidad y bajo costo, es por lo tanto el de mayor aplicación tanto a nivel industrial como doméstico; y por supuesto en los sistemas de bombeo centrífugo utilizado casi universalmente para el bombeo de agua municipal, quizá hasta se ha exagerado un poco en su aplicación, al grado de que, debido a su bajo costo, en muchos casos no se ha aprovechado adecuadamente sus grandes cualidades, propiciando usos sumamente ineficientes en algunas de sus aplicaciones.

### ***Pérdidas típicas en un motor eléctrico***

En general las pérdidas de un motor eléctrico se describen como sigue:

- a. Pérdidas eléctricas (en el estator y el rotor) (varían con la carga).
- b. Pérdidas en el hierro (núcleo) (esencialmente independientes de la carga).
- c. Pérdidas mecánicas (fricción y turbulencia del viento) (independientes de la carga). Las pérdidas mecánicas ocurren en los cojinetes, los ventiladores y las escobillas (cuando se usan) del motor.
- d. Pérdidas de carga por dispersión (dependientes de la carga). Estas pérdidas están constituidas por varias pérdidas menores que provienen de factores como la pérdida de flujo inducido por las corrientes del motor, la distribución no uniforme de la corriente en el estator y los conductores del rotor, el entrehierro y así sucesivamente. Estas pérdidas combinadas llegan a constituir hasta el 10 o 15% de las pérdidas totales del motor y tienden a aumentar con la carga.

En condiciones normales de tensión y frecuencia, las pérdidas mecánicas y magnéticas se mantienen prácticamente constantes, independientemente de la carga impulsada; no así las pérdidas eléctricas que varían con la potencia exigida en la flecha.

### **Evaluación de eficiencia de motores**

La eficiencia de un motor eléctrico es la medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea, en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en por ciento de la relación de potencia mecánica entre la potencia eléctrica.

Todas las pérdidas descritas influyen en el valor real de la eficiencia de un motor en operación pero de manera general, se sabe que la máxima eficiencia ocurre cuando operan entre el 75% y el 95% de su potencia nominal, disminuyendo ligeramente cuando se incrementa y de manera significativa si se reduce.

Como parte del DEN se recomienda evaluar de manera separada la eficiencia del motor con respecto a la bomba normalmente acoplada al mismo, con el fin de conocer detalladamente donde se está desperdiciando la energía. Evaluar por separado la eficiencia de cada componente, es útil para tomar mejores decisiones de acciones a implementar dentro de un plan de ahorro energético.

La metodología para realizar esta evaluación está enfocada en determinar la eficiencia ( $\eta_m$ ) y por ende el nivel de pérdidas energéticas de los motores eléctricos en estudio. El método de ingeniería más práctico y confiable para una estimación apropiada para la toma de decisiones es el método de la curva del motor. Este es un procedimiento iterativo basado en la comparación de la eficiencia calculada contra la reportada por las curvas características de eficiencia en función del factor de carga para el motor en estudio.

#### **IV. Cálculo de pérdidas y eficiencia de la bomba**

Como ya se comentó, uno de los mayores puntos de pérdidas energéticas se presenta en la etapa de transformación de la energía eléctrica a la energía mecánica obtenida por medio del sistema de bombeo y transmitida al fluido en forma de potencia manométrica.

Por ende es importante diagnosticar varios aspectos que pueden ser causa de excesivo consumo energético y al mismo tiempo, oportunidades para ahorrar energía de manera sustancial y con bajo costo.

Es importante diagnosticar varios aspectos que pueden ser causa de excesivo consumo energético en el equipo de bombeo, pero que al mismo tiempo representan oportunidades para ahorrar energía de manera sustancial.

Los principales aspectos a diagnosticar son:

- a. Eficiencia actual del equipo de bombeo.
- b. Condiciones de operación del sistema.
- c. Características de las instalaciones y pérdidas energéticas en el sistema de conducción.

#### **Pérdidas y cálculo de eficiencia en la bomba**

Durante su operación, las bombas sufren pérdidas naturales como resultado de los mecanismos hidráulicos que suceden en el interior y exterior de sus componentes, por ello es lógico que no se pueda alcanzar una eficiencia del 100 %.

Para entender de donde vienen las pérdidas en la operación de bombeo que finalmente repercuten en el consumo energético, es importante repasar los diferentes tipos de pérdidas que se presentan en las bombas y que se clasifican de la siguiente forma:

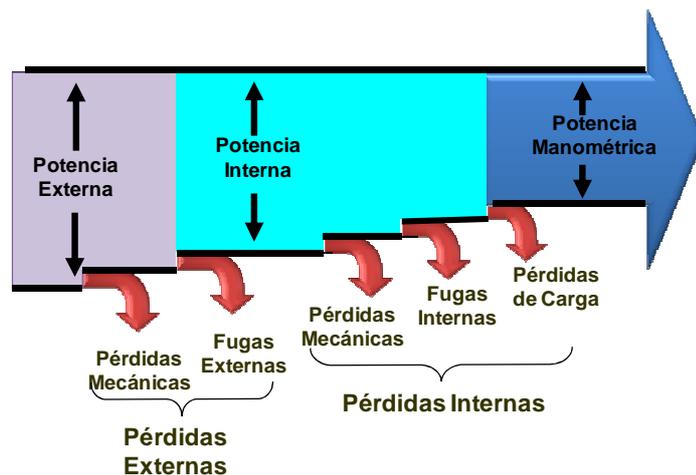
### Pérdidas Internas

- Pérdidas de Carga: Resultan de la viscosidad y la turbulencia del fluido. Ejemplo de pérdidas de carga son las pérdidas por choques en la entrada del difusor.
- Pérdidas por Fugas: En una bomba, las pérdidas por fugas internas tienen como causa el juego que necesariamente ha de existir entre partes móviles como el impulsor y partes fijas.
- Pérdidas por Rozamiento Interno: En una bomba centrífuga el impulsor tiene superficies inactivas desde el punto de vista de su función de comunicar energía al fluido. Esto da lugar a frotamiento viscoso, lo cual da lugar a pérdidas internas por rozamiento en el fluido.

### Pérdidas Externas

- Fugas Externas: Estas se producen en los lugares donde el eje atraviesa a la carcasa de la máquina. Una parte del caudal que entra a la bomba, se deriva antes de entrar al impulsor y se pierde.
- Pérdidas por Rozamiento Externo:
  - Rozamiento mecánico en las empaquetaduras que existen en los ejes.
  - Rozamiento mecánico en los cojinetes de la bomba.

Figura 22. Diagrama energético global de las bombas centrífugas



Fuente: Elaboración del autor.

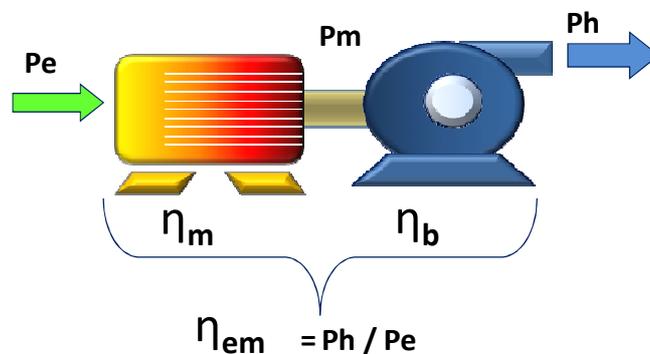
En la Figura 22 se presenta de manera grafica los flujos de pérdidas y diversos rendimientos de la bomba centrífuga en forma de diagrama de Sankey.

La eficiencia global a la que la bomba opera, se calcula entonces como el cociente entre la Potencia manométrica de salida  $P_s$  entre la Potencia mecánica absorbida  $P_m$ , que se identifica en el diagrama como Potencia Externa.

### **Evaluación de la Eficiencia Electromecánica ( $\eta_{em}$ )**

La eficiencia electromecánica corresponde a la eficiencia del conjunto motor-bomba. Debido a la dificultad de medir la potencia mecánica por separado y de ahí medir la eficiencia de la bomba, se recomienda evaluar la eficiencia electromecánica del conjunto bomba-motor que gráficamente se puede representar con la Figura 23.

**Figura 23. Diagrama esquemático de las eficiencias del sistema electromecánico**



Fuente: Elaboración del autor.

Donde:

- Ph es la potencia manométrica en kW.
- Pe es la potencia eléctrica en kW.
- Pm es la potencia mecánica transmitida a la bomba en kW.
- $\eta_m$  es la eficiencia del motor en %.
- $\eta_b$  es la eficiencia de la bomba en %.
- $\eta_{em}$  es la eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba en %.

Los valores determinados de la eficiencia electromecánica ( $\eta_{em}$ ) deben compararse durante el DEN con al menos los valores recomendados por las NOM de eficiencia energética aplicables a los motores y equipos de bombeo existentes en nuestro país, con el fin de determinar los niveles de ahorro de energía potenciales. Esto servirá como una buena base para considerar la sustitución de equipos durante la integración de la cartera de proyectos de ahorro de energía.

Las NOM mexicanas que aplican a los equipos electromecánicos más comunes en los sistemas de agua potable y saneamiento son las siguientes:

- NOM-001-ENER: Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical.
- NOM-010-ENER: Eficiencia energética de bombas sumergibles.
- NOM-006-ENER: Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.

- NOM-016-ENER: Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW.

Las dos primeras aplican a fabricantes y la tercera aplica a los organismos operadores. Estas NOM establecen valores mínimos recomendables para las eficiencias de equipos y sistemas como pozos profundos. A manera de ejemplo, en la Tabla 34 se muestran los valores mínimos recomendables para la eficiencia electromecánica de pozos profundos en operación que recomienda la NOM-006-ENER-1995, en función del intervalo de capacidades.

**Tabla 34. Valores mínimos de eficiencia electromecánica con base en la NOM-006-ENER-1995**

Intervalo de potencias		Eficiencia electromecánica (%)
kW	Hp	
5.6 – 14.9	7.5-20	52
15.7 - 37.3	21-50	56
38.0 - 93.3	51-125	60
94.0 – 261	126-350	64

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 9 de noviembre de 1995.

Esta NOM ordena que cualquier sistema de bombeo para pozo profundo que utilice la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que, derivado del diagnóstico de eficiencia electromecánica ésta resulte menor o igual al 40% en forma combinada, esto es, del conjunto bomba-motor, deben efectuarse acciones de rehabilitación o sustitución de los equipos electromecánicos, con el propósito de elevarlos a los niveles establecidos en la tabla como mínimo.

Asimismo menciona que las acciones de rehabilitación o sustitución pueden estar dirigidas al motor eléctrico, a la bomba, a la estructura del pozo profundo, o a una combinación de éstos, según sea el caso, de tal forma que el conjunto de éstas den como resultado los valores de eficiencia electromecánica establecidos en la tabla mencionada.

En nuestro país es común encontrar ahorros potenciales arriba del 20 %, respecto a los valores que establece la NOM 006 en pozos en operación.

***Cálculo de pérdidas de carga en tuberías de succión y descarga, y en la red de distribución.***

Las tuberías de succión y descarga también generan pérdidas energéticas debidas a la fricción del fluido sobre las paredes de las mismas, para calcular las pérdidas se puede utilizar cualquier método de cálculo basado en el factor de fricción, como puede ser el coeficiente de fricción que se determina por medio de la ecuación de Coolebroke–White, a partir de los valores del Número de Reynolds y Rugosidad relativa.

Otro aspecto básico a evaluar durante el DEN y donde generalmente se encuentran áreas de oportunidad para corregir situaciones de excesivo consumo energético y es una fuente de medidas de ahorro de bajo costo, son las características de la instalación y particularmente las características de la red de conducción asociada a cada sistema de bombeo.

Entre los puntos clave están la configuración física de los trenes de descarga de pozos profundos y de los sistemas de conducción a la descarga de las baterías de rebombeo o en captaciones superficiales como tomas de río, manantiales, presas o galerías filtrantes.

Los principales puntos a observar son los siguientes:

**A.** Condiciones de succión. En muchas ocasiones, la eficiencia de los sistemas se abate por falta de condiciones apropiadas de carga en la succión. Técnicamente este concepto se conoce como Carga Neta Positiva de Succión. Durante el DEN es importante verificar que se cumplan las condiciones mínimas para que no se presente este problema que no es el más recurrente.

**B.** Características de los sistemas de conducción. Es muy común encontrar escasa capacidad de los sistemas de conducción a la descarga de los sistemas de bombeo. Esto se refleja en tres problemas típicos que deberán identificarse durante el DEN para emitir las recomendaciones pertinentes:

**B.1** Problemas de contrapresión que se oponen al flujo desde una fuente o equipo de rebombeo. Esto sucede cuando se juntan caudales de fuentes que normalmente descargan a diferentes presiones.

**B.2** Reducción en la capacidad de producción de trenes de bombeo. Este problema se presenta frecuentemente en sistemas de rebombeo compuestos por equipos múltiples trabajando en paralelo, donde se han aumentado el número de equipos pretendiendo entregar más caudal a la red sin revisar la capacidad de la conducción lo que ocasiona que trabajando en conjunto, los equipos no suministren el caudal para el que son capaces de manera individual y se reduzca significativamente su eficiencia. Este problema se explica técnicamente por la teoría de los sistemas operando en paralelo.

**B.3** Pérdidas excesivas de energía por escasa capacidad de los sistemas de conducción existentes. Es posible que en algunos sistemas de distribución, las pérdidas energéticas por cortante (fricción) en las tuberías sean significativas. Para evaluar esta posibilidad, durante el DEN se recomienda evaluar lo siguiente:

**B .3.1** Con los datos recopilados durante la campaña de medición e inspección de campo, evaluar la velocidad del fluido en las tuberías primarias de conducción a la descarga de pozos y sistemas de rebombeo.

**B 3.2** En tuberías de conducción donde se tengan velocidades del fluido por encima de los 2.0 m/s que es el criterio práctico establecido en la práctica, evaluar las pérdidas energéticas por este concepto, para integrarlas posteriormente en una medida de la cartera de proyectos de eficiencia energética a considerar.

Es común encontrar que cuando no se cuenta con la capacidad de conducción suficiente, la potencia eléctrica necesaria para compensar este problema es equivalente a un porcentaje significativo de la potencia que está demandando el equipo de bombeo asociado a la misma, lo cual es una base fundamental para el cálculo de esta medida de ahorro dentro del plan de eficiencia energética.

### Aspectos de mantenimiento de las instalaciones electromecánicas a observar en el DEN

Durante la elaboración del DEN es necesario evaluar si se lleva algún programa de mantenimiento y de qué tipo. Esto supone identificar si se monitorean diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida de los equipos. Algunos de estos parámetros son los siguientes:

- a) Vibración de cojinetes.
- b) Temperatura de las conexiones eléctricas.
- c) Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor.

El enfoque de la inspección a desarrollar será verificar que los equipos y las instalaciones se encuentren física y funcionalmente en buen estado. Desde el punto de vista del consumo de energía, se trata de que los equipos mantengan sus eficiencias originales. El tipo común de problema de mantenimiento detectado es la ocurrencia de fugas en los estoperos de los equipos de bombeo como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 24. Problemas típicos de falta de mantenimiento en equipos de bombeo**



Fuente: Watergy México, A.C.

Este problema que es recurrente y típico de encontrar, el cual reduce de manera significativa el rendimiento porque incrementa las pérdidas hidráulicas internas y externas de la bomba.

El resultado final del Diagnóstico Energético (DEN) es determinar el Balance de Energía en el sistema de bombeo.

#### ***Balance de Energía***

Una vez determinadas las eficiencias energéticas de los componentes del sistema de bombeo, se debe determinar el Balance de Energía Actual de equipo en estudio.

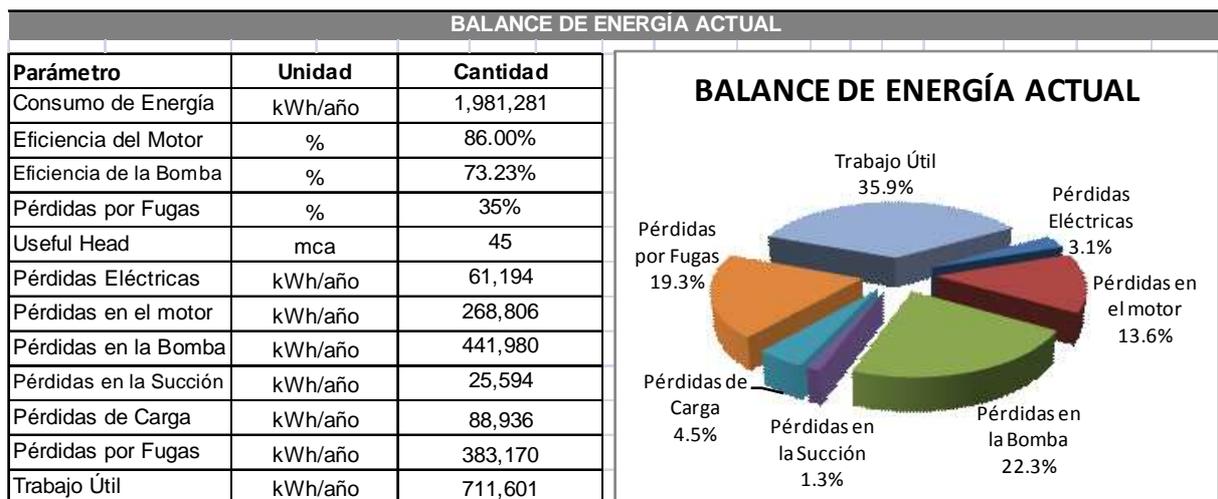
El fin del balance de energía es identificar los elementos del sistema de bombeo donde están los mayores consumos energéticos y sirve de base para la planeación de las medidas de ahorro correspondientes.

El valor más significativo que se obtiene de este balance es el desglose de todas las pérdidas energéticas a lo largo de la cadena de suministro y utilización de la energía, distinguiéndola del TRABAJO ÚTIL, la cual nos indica la cantidad de energía que realmente es utilizada por el sistema para los fines de bombeo de agua. Todo lo que no sea trabajo útil, se convierte en

perdidas y el balance nos permite distinguir como están distribuidas y cuáles son las más impactantes, lo cual a su vez indicara donde está el mayor potencial de ahorro energético a aprovechar.

Para realizar este balance se deberán determinar las eficiencias y pérdidas de los distintos elementos del sistema, de acuerdo a lo visto anteriormente. Estos resultados se disgregan de acuerdo a los conceptos descritos en la tabla, y obtienen los valores de los consumos de energía en cada elemento del sistema.

**Tabla 35. Ejemplo de disgregación de pérdidas en un sistema de bombeo tipo**



Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

A continuación se describen los elementos que componen el balance de energía.

- **Consumo total.**- Es la energía total consumida por el sistema eléctrico en un año de operación calculada como la suma del promedio de la potencia activa en todas las fases, mas las pérdidas de energía en los conductores del tramo transformador al interruptor principal, multiplicada por el tiempo de operación. De esta forma se obtiene el consumo total de energía en kWh.
- **Eficiencia del motor.**- Es la eficiencia real del motor.
- **Eficiencia de la bomba.**- Es la eficiencia real de la bomba.
- **Pérdidas por fugas.**- Es la estimación de perdidas por fugas en la red de distribución de acuerdo a estudios previos, y debe ser un valor ingresado.
- **Carga de Bombeo.**- Es la carga que debe tener la bomba debido el desnivel físico por cuestiones topográficas del sistema, mas la distancia que existe entre la succión y el cabezal de la bomba, y se expresa en metros de columna de agua m.c.a.
- **Pérdidas Eléctricas.**- Son las pérdidas de energía debidas a los elementos eléctricos, en este caso, las debidas a las pérdidas de energía en los conductores.

- **Pérdidas en el motor.-** Son las pérdidas de energía que se tienen en el motor, por la eficiencia real de trabajo del mismo.
- **Pérdidas en la bomba.-** Son las pérdidas de energía que se tienen en la bomba por la eficiencia de trabajo de la misma.
- **Pérdidas en succión y descarga.-** Son las pérdidas de energía provocadas por la fricción del fluido en las tuberías de succión y descarga.
- **Pérdidas de carga.-** Son las pérdidas totales de carga de la bomba calculadas en relación de la carga neta de la bomba y la carga útil correspondiente (desnivel).
- **Pérdidas por fugas.-** Son las pérdidas de energía estimadas a partir del fluido perdido en fugas en la red de distribución, calculadas en función del factor de fugas.
- **Trabajo útil de bombeo.-** Es el trabajo real expresado en unidades de energía que requiere realmente el sistema de bombeo. Es decir, la energía que realmente es utilizada para que el sistema de bombeo cumpla con el trabajo encomendado.

Una vez calculados las pérdidas de cada uno de los elementos que componen al sistema de bombeo se puede hacer una gráfica de pie, como la mostrada en la figura anterior, para una mejor percepción del Balance Energético.

### 3.6 Proyecto de Eficiencia Energética (PEE)

Para ejecutar un PEE en el sistema de bombeo, se propone también seguir una secuencia ordenada, empezando con el análisis de la información obtenida durante el DEN , incluyendo las condiciones operativas y de mantenimiento encontrados y determinando la cartera de proyectos que abarquen todas las oportunidades posibles de ahorro tanto energético como económico, incluyendo las medidas sin o con baja inversión y las que si requieran inversión; para estas últimas, es necesario realizar el análisis costo beneficio que puede ser desde un análisis de retorno simple de la inversión como un análisis más profundo basado en el valor presente neto que considere el tiempo de vida del bien adquirido.

En general, las acciones están orientadas a controlar y optimizar las variables que afectan el consumo y costo energético. Algunas de ellas se indican a continuación:

- El caudal que se requiere suministrar.
- La carga que soportan las líneas de conducción en el bombeo (Esta variable depende de factores físicos y topográficos, pero es susceptible de modificar u optimizar a través de técnicas como la sectorización y la modelación hidráulica.).
- La eficiencia de los equipos con la que operan.
- Los tiempos de operación de los equipos de bombeo.
- El comportamiento de parámetros electromecánicos de las instalaciones.

Del DEN, normalmente se derivan acciones con las cuales se logran ahorros de energía, aun sin modificar sustancialmente las condiciones actuales de operación del sistema, es decir, sin

corregir las deficiencias hidráulicas y operativas de la red, ni reducir los niveles de fugas existentes. Las cuales se denominan medidas de rápida implementación, cuyo tiempo de retorno es menor a dos años generalmente.

Las medidas más comunes de ahorro de energía de este tipo, se clasifican en los siguientes grupos:

- 1) Medidas relacionadas con la tarifa de energía.
- 2) Medidas para la reducción de pérdidas en las instalaciones eléctricas.
- 3) Medidas para incrementar la eficiencia de motores.
- 4) Medidas para incrementar la eficiencia de las bombas.
- 5) Reducción de pérdidas de carga.
- 6) Reducción de fugas.
- 7) Mejorar la operación por medio de un control automático de presión.
- 8) Mejorar el mantenimiento.
- 9) Reemplazar la fuente de suministro de energía eléctrica.

La descripción detallada y sus respectivas bases teóricas así como los criterios usados para evaluar la aplicación de estas medidas se describen a continuación, siguiendo el orden descrito anteriormente.

#### **1) Medidas relacionadas con la tarifa de energía**

Un área de oportunidad de ahorro, siempre atractiva en los sistemas de bombeo, consiste en cambiar de tarifa contratada con la compañía suministradora de energía eléctrica, por alguna otra que resulte más rentable.

Las tarifas usualmente aplicables a Organismos Operadores de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en México son las siguientes:

Tarifa 6.-	Específica para los sistemas de agua.
Tarifa OM.-	Ordinaria en Media Tensión.
Tarifa HM.-	Horaria en Media Tensión.
Tarifas de cargo fijo	Que aplican a tarifas en media tensión y entraron en vigor a partir de Enero de 2009.

El proyecto de optimización tarifaria, se compone de dos etapas:

Etapa 1. Identificar las tarifas en que se encuentran todos y cada uno de los servicios del organismo operador, así como sus capacidades instantáneas y consumos. Con esta información se inicia el análisis de las tarifas contratadas.

Etapa 2. Comprende la evaluación de las posibilidades de ahorro en el costo de energía eléctrica con las diferentes tarifas aplicables de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Sistemas conectados en baja tensión**

En sistemas de bombeo con suministro en baja tensión, analizar las siguientes alternativas:

- a. Si está contratado en tarifa 2 ó 3, evaluar el cambiar a tarifa 6, o considerar la instalación de un transformador y cambiarse a tarifa OM.
- b. Si está contratado en tarifa 6, evaluar la instalación de un transformador y cambiarse a tarifa OM ó HM (tarifas en media tensión).

- **Sistemas conectados en media tensión**

En sistemas de bombeo con suministro en media tensión, analizar las siguientes alternativas:

- a. Si la demanda es menor a 100 kW, evaluar entre las tarifas 6, OM, y HM cual resultaría más económica y si no se está contratado en la más económica de las tres, solicitar la incorporación a esta tarifa.
- b. Si la demanda es mayor a 100 kW, evaluar entre las tarifas 6 y HM cual resultaría más económica y si no se está contratado en la más económica, solicitar la incorporación a esta tarifa.
- c. Si la demanda es mayor a 1000 kW, considerar la instalación de una subestación en alta tensión, verificar con la compañía suministradora la disponibilidad de suministro a ese voltaje, y en caso de haber disponibilidad, calcular los ahorros a lograrse con la incorporación a la tarifa en alta tensión y realizar la evaluación económica de realizar la inversión en la subestación. Este es un caso muy especial, debido a que se tendrá que considerar un cambio de subestación del usuario así como todos los dispositivos de control y protección necesarios.

- **Sistemas conectados en alta tensión**

En sistemas de bombeo con suministro en alta tensión, analizar el tipo de suministro y si está en nivel subtransmisión, evaluar entre las tarifas 6, HS, y HSL, cuál resultaría más económica y si no se está contratado en la más económica de las tres, solicitar la incorporación a esta tarifa. Se recomienda conocer las tarifas existentes visitando la página electrónica de Comisión Federal de Electricidad (<http://www.cfe.gob.mx>), específicamente en la sección "Información al Cliente, Conoce tu Tarifa".

- **Control de la demanda**

En instalaciones en donde el suministro de energía eléctrica esté contratado en tarifa horaria (HM), se recomienda analizar las alternativas para la implantación de un sistema de control de la demanda. Para esto, durante el DEN debe evaluarse si puede realizarse independientemente o, si la situación operativa es muy compleja, en combinación con un Proyecto de Eficiencia Hidráulica, con el fin de que esta medida se haga mayormente viable.

Esencialmente, de lo que se trata es de disminuir la carga hidráulica en operación durante el horario de punta, para bajar con ello el monto de la demanda facturable, y como consecuencia el importe que por ese concepto se paga a la compañía suministradora. El control de la demanda podrá realizarse por cualquiera de los siguientes métodos:

- a. Modificar procedimientos de operación para disminuir carga en el horario de punta.
- b. Instalar temporizadores para parar equipos antes del inicio del horario de punta y ponerlos en operación al término de dicho horario.
- c. Implantar un sistema de control automático para regular equipos en función de la demanda y otros parámetros del proceso, tales como presión o nivel.

Como resultado de este análisis, se calcula la carga en la que se estará operando en cada uno de los horarios para la tarifa HM, así como el número de horas de operación al mes, de manera que se pueda calcular la energía que se consumirá en cada caso. En caso de que las medidas a implantarse requieran inversiones, se deberá realizar la evaluación económica del proyecto de inversión. Con esto se determinan los ahorros a obtener con la medida, para lo cual se debe:

- Calcular el importe de la facturación actual.
- Calcular el importe de la facturación esperado.
- Calcular los ahorros económicos a lograrse.

## **2). Medidas para la Reducción de Pérdidas en las Instalaciones Eléctricas**

Las medidas para reducir las pérdidas en las instalaciones eléctricas están enfocadas a sus componentes principales, transformadores, factor de potencia y conductores. A continuación se hace una breve descripción de las medidas que podrían aplicar en estos casos.

### **2.1) Mejorar el enfriamiento de transformadores**

Si durante la campaña de medición las temperaturas registradas en el transformador se encuentren en un rango fuera de lo normal, se pueden producir pérdidas significativas de electricidad. En este caso, se debe evaluar el costo para corregir dicha falla. En la Tabla 36 se presentan algunas de las acciones a aplicar, dependiendo de la problemática.

**Tabla 36. Acciones recomendadas para mejorar las condiciones en un transformador**

Condición observada	Acción recomendada
El transformador tiene muchos años en operación y/o se encuentra en mal estado.	Practicar un mantenimiento general al transformador y en caso de presentar daños irreversibles sustituirlo por uno nuevo de bajas pérdidas.
El transformador presenta una alta temperatura, debido a falta de ventilación en el cuarto donde se encuentra instalado.	Mejorar la ventilación en el cuarto donde se encuentre el transformador, ya sea mediante la instalación de extractores, o abriendo ventanas para ventilación del local.
El transformador presenta alta temperatura de operación, debido a las altas temperaturas ambientes.	Instalar un sistema de ventilación forzada al transformador.

Fuente: Elaboración del autor. <sup>4</sup>

### 2.2) Incrementar el calibre de conductores

En caso de que se haya detectado que los calibres de los conductores no son del calibre que requiere el equipo de bombeo, se debe seleccionar un conductor que no solo cumpla con la NOM sino que además ahorre energía.

### 2.3) Optimizar el Factor de Potencia (FP)

El objetivo de esta medida será eliminar los problemas ocasionados por un bajo FP. De acuerdo a la experiencia de "Alliance to Save Energy", un valor por debajo del 90 %, amerita tomar acciones que resultan muy rentables, para compensarlo y alcanzar a valores cercanos a la unidad. Si el bajo factor de potencia es originado por motores sobredimensionados o trabajando en malas condiciones, sustituir dichos motores por motores nuevos de alta eficiencia que operen alrededor del 75% de carga. Una vez resuelto el problema de los motores, compensar el factor de potencia con bancos de capacitores, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Medir el factor de potencia.
- b) Proponer la instalación de un banco de capacitores, con una capacidad tal para elevar el factor de potencia a niveles del orden de 0.97.
- c) Instalar los capacitores propuestos, corriente abajo del arrancador del motor, de manera tal que únicamente queden energizados, cuando se energice el motor.

## **3). Medidas para Incrementar la eficiencia de motores**

Existen varias medidas para incrementar la eficiencia de los motores, en función de la causa que origine dicha ineficiencia. A continuación se describen algunas de ellas.

### 3.1) Corregir los desbalances de voltaje

El desbalance de voltaje puede presentarse en la alimentación eléctrica al motor, reduciendo su eficiencia. A continuación se presentan algunas de las acciones que se pueden implementar.

Tabla .

**Tabla 37. Acciones recomendadas para corregir el desbalance de voltaje de alimentación a los motores eléctricos**

Origen del desbalance de voltaje	Acciones correctivas a implantar
Desbalance en la corriente demandada por el motor, la que produce una caída de tensión en cada fase, y por lo tanto el desbalance en voltaje.	Practicar un mantenimiento al motor, y en caso de que el daño sea irreversible, sustituir el motor por un motor nuevo de alta eficiencia.
Desbalance de origen en la alimentación de la compañía suministradora.	Solicitarle a la compañía suministradora la corrección del problema.
Desbalance originado por el transformador de la subestación propia.	Practicar un mantenimiento al transformador, y en caso de que el daño sea irreversible, sustituir el transformador por un transformador nuevo de bajas pérdidas.
Desbalance originado por un desbalance en las cargas del transformador.	Balancear las cargas del transformador.

Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

### 3.2) Sustitución del motor eléctrico por un motor de alta eficiencia

Esta medida es recomendable cuando se han agotado las posibles acciones que no impliquen la inversión que representa la sustitución del motor. Esta medida es altamente recomendable cuando el motor sufre una falla y es necesario repararlo.

Los motores de alta eficiencia se diferencian de los motores estándar por las siguientes características:

- Utilización de acero con mejores propiedades magnéticas
- Reducción del entrehierro
- Reducción del espesor de la laminación
- Incremento en el calibre de los conductores
- Utilización de ventiladores y sistemas de enfriamiento más eficientes
- Utilización de mejores materiales aislantes

### 3.3) Optimización de la eficiencia del motor

La determinación de la eficiencia de los motores eléctricos en operación realizada durante el DEN, además del cálculo de la eficiencia real, implica un análisis de las posibles causas que la afectan, dependiendo de la condición anómala encontrada. En la Tabla 38 se presentan las acciones correctivas recomendadas para los motores eléctricos que trabajan en condiciones de operación ineficiente.

**Tabla 38. Acciones recomendadas para corregir condiciones de operación ineficiente de los motores eléctricos**

Condición observada	Diagnóstico	Acción correctiva propuesta a evaluar su implantación
Voltaje de alimentación por debajo del nominal	El voltaje en el punto de acometida está por debajo del nominal-	a) Corregir con los TAPs del transformador. ( Los TAPs son los componentes físicos en forma de manija (cambiadores) de un transformador que se utilizan para graduar la relación de transformación del voltaje y ajustar el voltaje de salida al motor para absorber las variaciones del suministrador). b) Solicitar al suministrador corrija el problema.
	El voltaje en el punto de acometida presenta variaciones mayores al 5%.	a) Solicitar al suministrador corrija el problema.
	El voltaje en el punto de acometida es el nominal y no presenta variaciones significativas.	a) Corregir con los TAPs del transformador.
		b) Practicarle un diagnóstico y mantenimiento al transformador.
Desbalance del voltaje de alimentación al motor	El voltaje en el punto de acometida está desbalanceado.	a) Solicitar al suministrador corrija el problema.
	El voltaje en la acometida está balanceado y en el secundario del transformador desbalanceado.	a) Practicar un diagnóstico y mantenimiento al transformador.
	El voltaje en los bornes del secundario del transformador está balanceado y en la alimentación al motor se encuentra desbalanceado.	a) Revisar la conexión de puesta a tierra del transformador y el motor, y en caso de que se detecten problemas, corregirlos.
		b) Revisar las conexiones del CCM, arrancador y motor, y en caso de que se detecten problemas, corregirlos.
Desbalance en la corriente demandada por el motor	El desbalance en corriente es inversamente proporcional al desbalance en voltaje.	a) Corregir el desbalance en voltaje.
	El desbalance es producido por una demanda desbalanceada por las fases del motor.	a) Si el desbalance es menor al 5%, practicarle un mantenimiento al motor. b) Si el desbalance es mayor al 5%, sustituir el motor por un motor nuevo de alta eficiencia.
La velocidad de operación del motor, está por debajo de la velocidad a plena carga	Problemas con rodamientos y/o cojinetes.	a) Lubricar y en su caso sustituir los elementos con problemas.
Alta temperatura y/o alta vibración en cojinetes y/o rodamientos		
El motor es de eficiencia estándar y tiene más de 10 años de operación	La eficiencia de operación del motor es baja.	a) Sustituir el motor actual por un motor nuevo de alta eficiencia de una capacidad tal, que opere cerca del 75% de su capacidad.

Condición observada	Diagnóstico	Acción correctiva propuesta a evaluar su implantación
El motor ha sido reparado (rebobinado), más de dos veces	La eficiencia del motor se encuentra depreciada.	
El motor se encuentra trabajando con un factor de carga menor al 45%	El motor se encuentra trabajando en una zona donde su eficiencia de operación es baja.	
El motor se encuentra trabajando con un factor de carga mayor al 100%	El motor se encuentra trabajando en una zona donde su eficiencia de operación es baja.	

Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

La aplicación de estas acciones puede mejorar sustancialmente la eficiencia de un motor eléctrico, y con ello reducir las pérdidas energéticas, por ejemplo, la reducción del 30% en las pérdidas de un motor de 10 HP con 82% de eficiencia, incrementa su valor a un 87.4%, lo cual también puede representar un beneficio significativo en el consumo energético.

#### 4.) Medidas para Incrementar la eficiencia de las bombas

Cuando en el DEN se obtiene como resultado eficiencias bajas de la bomba, se pueden aplicar alguna de las siguientes medidas de ahorro.

##### 4.1) Adecuación del equipo de bombeo al punto de operación real

En esta medida el procedimiento para determinar una recomendación consiste en definir al menos dos puntos de operación carga-gasto donde opere el equipo de bombeo.

**Tabla 39. Acciones recomendadas para ajustar las curva del equipo de bombeo a la condición real de operación**

Tipo de Bomba	Ubicación del punto de operación	Acción Correctiva
Vertical multietapa	Por encima de la curva de la bomba	Incrementar etapas, hasta lograr hacer pasar la curva de la bomba por el punto de operación.
		Sustituir los impulsores por nuevos impulsores de mayor diámetro, siempre que sea posible.
	Por debajo de la curva de la bomba	Eliminar etapas, hasta lograr hacer pasar la curva de la bomba por el punto de operación.
		Recortar los impulsores al tamaño requerido, para que la curva de la bomba pase por el punto de operación.
Horizontal	Por encima de la curva de la bomba	Sustituir los impulsores por nuevos impulsores de mayor diámetro, siempre que sea posible.
	Por debajo de la curva de la bomba	Recortar los impulsores al tamaño requerido, para que la curva de la bomba pase por el punto de operación.

Fuente: Elaboración del autor.

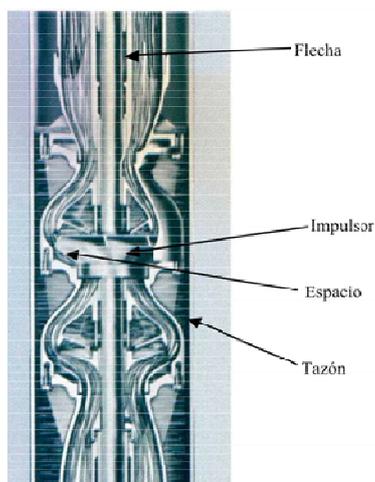
Posteriormente se deberán analizar las características del equipo instalado y evaluar si es recomendable una adecuación del mismo a las condiciones de operación reales (por ejemplo; reducción del número de tazones, recorte de impulsores, cambio de impulsores, o sustitución del equipo de bombeo). En la Tabla 39 se indican algunas acciones que pueden efectuarse para incrementar la eficiencia de la bomba, según la problemática.

#### 4.2) Ajuste de la posición de los impulsores en bombas de turbina con impulsor abierto.

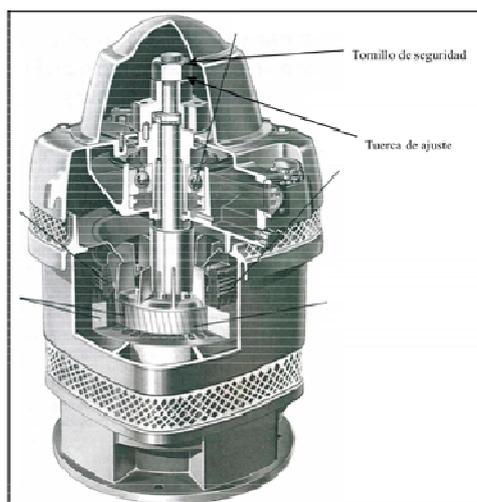
Esta medida aplica solo en bombas tipo turbina vertical con impulsor abierto, y es aplicable cuando en la visita de inspección de mantenimiento electromecánico se observa que la flecha tiene un pequeño juego o vibración excesiva.

Ajustar la flecha con los impulsores dentro del cuerpo de tazones, levantando o bajando la flecha por medio de la tuerca de ajuste. En las Figuras 25 y 26 se muestra el arreglo de los impulsores dentro del cuerpo de tazones de la bomba.

**Figura 25. Diagrama de una bomba de turbina de flecha de impulsor abierto y sus componentes**



**Figura 26. Diagrama de un motor flecha hueca acoplado a una bomba de turbina**



Fuente: Manual de operación Byron Jackson.

Este ajuste se calibra en la flecha desde la instalación del equipo, siguiendo las indicaciones del fabricante. Si la posición de los impulsores, no quedó bien ajustada o se ha desajustado con el tiempo, se provoca una reducción de la eficiencia de la bomba. El procedimiento para ajustar la flecha a la posición de diseño es el siguiente:

**Paso 1.** Quitar la tapa del motor vertical, para descubrir la tuerca de ajuste de la flecha (ver Figura 26).

**Paso 2.** Desmontar el tornillo de seguridad, que impide se mueva la tuerca.

**Paso 3.** Una vez que la tuerca esté libre, se deberá aflojar hasta el momento que ya no sostiene el peso de la flecha. En ese momento se aprieta en forma manual hasta el tope. Cuando esto sucede, se toma la medida del sobrante de flecha por encima del nivel de la tuerca.

**Paso 4.** Se procede a levantar la flecha por medio del ajuste de la tuerca hasta el tope superior en el tazón, tomando nuevamente la medida correspondiente. La diferencia será el juego total que tienen los impulsores dentro del cuerpo de tazones. Este valor debe coincidir con el proporcionado por el fabricante. De no ser así indica desgaste del impulsor con el tazón.

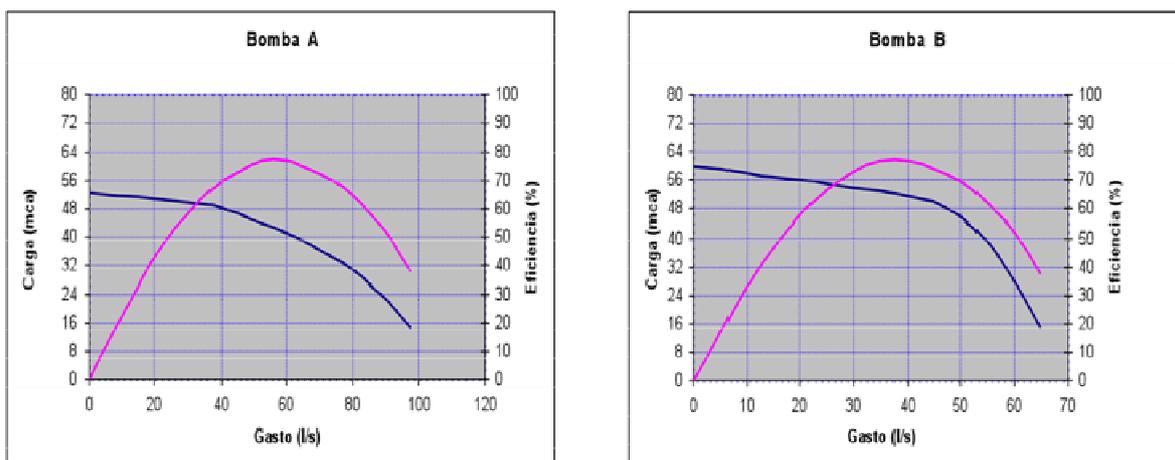
**Paso 5.** Para realizar el ajuste se debe aflojar nuevamente la flecha al tope donde el impulsor asienta con el tazón. Una vez realizado esto, se debe ajustar la flecha de acuerdo a las especificaciones del fabricante, mediante el apriete de la tuerca, subiendo la distancia recomendada por el fabricante, la cual depende del diámetro de la flecha y carga hidráulica.

#### 4.3) Sustitución del conjunto Bomba - Motor

Esta medida es recomendable cuando la eficiencia electromecánica haya resultado sustancialmente baja y el potencial de ahorro de energía con respecto a las NOM determinado durante el DEN haya resultado de al menos el 20%. Es sabido que dicho potencial de ahorro de energía es incluso mejorable con equipos comercialmente disponibles. También es importante revisar los valores de eficiencia reales estimados para los motores eléctricos por separado. El criterio general es que si el potencial para mejorar la eficiencia de los motores rebasa el 5%, es todavía más recomendable la sustitución del conjunto bomba-motor dado que el potencial de ahorro se asegura en ambos componentes y la medida puede ser sumamente rentable. Para aumentar las posibilidades de éxito y asegurar el ahorro de energía proyectado, es importante seleccionar el equipo de bombeo entre varias marcas comerciales disponibles, tomando en cuenta lo siguiente:

- a) No calcular márgenes de seguridad irreales o incluir en la especificación información inapropiada.

**Figura 27. Curvas típica de dos equipos de bombeo con curvas H-Q diferentes**



Fuente: Elaboración del autor. <sup>4</sup>

- b) Si la bomba tiene que operar en más de un punto de carga hidráulica-gasto, hay que seleccionarla para que en ambos puntos presente una eficiencia “razonablemente alta”. Como ilustración de esta recomendación, se muestran en las figuras anteriores ejemplos de dos equipos de bombeo que tienen curvas de operación diferentes. Como se puede ver, la bomba “B” de la Figura 27, con una curva más plana sería la adecuada para la aplicación de cambios frecuentes en el nivel dinámico, mientras que la bomba “A” de la misma figura sería más favorable cuando es más estable el nivel.

Se recomienda que una vez instalado el equipo se verifique el punto de operación del mismo, y en su caso, hacer las adecuaciones necesarias.

#### *5). Reducción de Pérdidas de Carga*

Estas medidas regularmente son determinadas por el proyecto de Eficiencia Hidráulica, algunas de ellas pueden ser de implementación inmediata, mientras otras deberán esperar a que se realicen los trabajos dictados en el Proyecto de Eficiencia Hidráulica, sin embargo la evaluación de estas medidas debe ser realizado también en un punto de vista energético. A continuación se mencionan las medidas más comunes.

##### 5.1) Corrección de defectos en la configuración de tuberías de descarga y en la operación

Este punto aplica para aquellos sistemas de bombeo que durante el DEN se haya determinado que tienen algún problema en la configuración de su tubería de descarga que esté ocasionando un bajo rendimiento energético de alguno o todos los equipos involucrados, como recirculaciones innecesarias, contrapresiones que eviten el flujo adecuado desde un equipo determinado, entre otras. Las recomendaciones en este caso será la modificación de los trenes de descarga o configuración de las conducciones primarias para evitar los problemas mencionados.

La evaluación del ahorro en este caso va a depender de la situación que se haya encontrado, que puede derivar por ejemplo, en una mejora en el caudal producido o evitar la operación de un equipo que no esté siendo productivo.

##### 5.2) Reducción de pérdidas por cortante en conducciones

La reducción de pérdidas por el efecto cortante del agua sobre las paredes de la tubería se aplica para disminuir el impacto energético que representan las conducciones con altas velocidades, que en algunos casos pueden alcanzar el 30% de la potencia demandada por el equipo de bombeo.

Esta medida se aplica cuando la velocidad del agua dentro de la tubería es superior a las 2.0 m/s. Para su implementación se debe evaluar las acciones descritas a continuación y seleccionar aquella que resulte más rentable.

- a) Si la tubería ya tiene varios años en operación y se encuentra en mal estado, proponer la sustitución de la tubería actual por una de mayor diámetro, con la que se logren velocidades del agua entre 1.0 y 1.5 m/s.
- b) Si la tubería se encuentra en buen estado, analizar las siguientes opciones:

- b.1. Instalar una tubería en paralelo a la actual, de un diámetro tal, que se reduzca la velocidad del agua a un valor de entre 1.0 y 1.5 m/s.
- b.2. Sustituir la tubería actual por una de mayor diámetro, con la que se logren velocidades del agua de entre 1.0 y 1.5 m/s.

## **6.) Reducción de fugas**

El objetivo del control de fugas es reducir al mínimo el tiempo que transcurre entre el surgimiento de una fuga y su eliminación, a través de la revisión y ajuste continuo de procedimientos y acciones, con el fin de aumentar la eficacia de la conservación y mantenimiento de la red de distribución.

El control de fugas de agua es una actividad continua en tiempo y espacio donde se establecen los procesos para coordinar las acciones de localización y eliminación de fugas, apoyándose en un monitoreo continuo de la red, los reportes de fugas detectadas por usuarios, programas de búsqueda sistemática de fugas ocultas, elaboración periódica de balances y muestreos de evaluación, etc.

La formulación del proyecto de control de fugas se realiza de la manera siguiente:

- 1) Con un muestreo de campo y datos estadísticos recientes se elabora una evaluación de pérdidas y un balance del agua con el fin de estimar los porcentajes de agua por reducir en cada rubro.
- 2) Se recopila información y datos para la reducción de fugas, como por ejemplo, personal, presupuesto, procedimientos, equipos, resultados e indicadores.
- 3) Se determinan las causas de la ocurrencia de pérdidas de agua señalando los problemas principales, los equipos y recursos humanos necesarios, las acciones requeridas a corto y mediano plazos.
- 4) Se establece un programa de control de fugas para definir las actividades generales, priorizadas y calendarizadas, con sus costos y beneficios, e indicando sus fuentes de financiamiento.
- 5) Se ejecutan las acciones a corto plazo, como puede ser la implantación de un departamento de control de fugas, módulos de atención al público para reporte de fugas, equipos urgentes, capacitación al personal, etc.
- 6) Después se inicia el proceso de eliminación de pérdidas e implantación del proceso coordinado con las acciones de control.
- 7) Se ejecuta el control de estadísticas y el monitoreo de información.
- 8) Se elabora el balance del agua cada año y se evalúan periódicamente los indicadores siguientes:
  - a) Porcentaje de pérdidas potenciales = volumen de pérdidas / volumen producido.

- b) Relación beneficio-costo de la reducción y control = costo de acciones / costo del agua recuperada.

## **7) Mejorar la Operación**

Estas medidas dependen en un 100% de los resultados y acciones establecidas en el Proyecto de Eficiencia Hidráulica, ya que éste dictamina las nuevas condiciones de operación de los equipos de bombeo, ya que al variar las especificaciones de Gasto-Carga-Tiempo de operación se modifica en automático la energía que será demandada por los equipos de bombeo, incluso en este proyecto podría determinarse el paro definitivo de los equipos en caso de que estos no sean necesarios para una Operación Hidráulica óptima.

Las medidas del Proyecto de Eficiencia Hidráulica principales que influyen directamente en la evaluación de consumo energético de los equipos, son las siguientes.

### 7.1) Instalación de variadores de frecuencia

En aquellos sistemas con suministro directo a red, donde la demanda de agua es variable y que durante la evaluación de consumos energéticos por estas variaciones hayan resultado atractivos durante el DEN, fundamentalmente por sus niveles de consumo y costo energético, se recomienda proponer y evaluar la opción de aplicar un sistema de velocidad variable en el equipo de bombeo.

Para implementar correctamente esta medida y calcular los ahorros resultantes de la misma se procede de la forma siguiente:

*Paso 1.* Seleccionar los equipos resultantes como viables y considerar sus consumos energéticos operando sin variador de frecuencia así como las presiones y caudales registrados durante los monitoreos.

El monitoreo se debe realizar durante 24 horas, con lecturas de al menos cada hora, de los siguientes parámetros:

- Presión de descarga (kg/cm<sup>2</sup>).
- Caudal (m<sup>3</sup>/s).
- Potencia eléctrica demandada por el motor (kW).

*Paso 2.* Seleccionar la presión óptima de operación para cada sistema de distribución de agua potable, en función de lo siguiente:

- i) La presión óptima de operación es la presión más baja a la que podría operar el sistema sin dejar de proporcionar el servicio en ningún punto de la red. Ésta suele ser el valor más bajo registrado durante el monitoreo, por lo que habrá que verificar en campo o en un modelo de simulación hidráulica, si operando con dicha presión, se sigue suministrando agua en los puntos más altos de dicha red.
- ii) Si con la presión mínima registrada en el monitoreo, se logra que el agua llegue bien a todos los puntos de la red, verificar en campo, hasta que valor es posible bajar la presión, sin menoscabo del servicio. Dicho valor de la presión será la presión óptima de operación.

- iii) Si con la presión mínima registrada en el monitoreo, no se cumple que el agua llegue bien a todos los puntos de la red, verificar en campo, hasta que valor es necesario subir la presión, para que el agua alcance la presión adecuada en todos los puntos de la red. Dicho valor de la presión, será la presión óptima de operación.

*Paso 3.* Calcular la energía eléctrica que se ahorrará de acuerdo con lo siguiente:

- i) Calcular el perfil de presión disminuida.
- ii) Calcular el perfil de potencia eléctrica ahorrada.
- iii) Calcular la energía ahorrada.
- iv) Calcular los ahorros anuales que se obtendrán con la implantación.

Una vez determinados los ahorros de energía eléctrica, se estima el monto de las inversiones necesarias para la implantación de esta medida de ahorro y se realiza la evaluación económica del proyecto de inversión.

#### 7.2) Instalación de tanques de regulación

Es posible que, en algunas situaciones donde se esté suministrando agua directamente a la red, se requiera la instalación de un tanque de regulación para reducir la capacidad del sistema de bombeo trabajando a gasto medio y por ende la potencia eléctrica del mismo.

Para evaluar el ahorro con esta medida, se utiliza la modelación hidráulica de redes así como un análisis de la capacidad de los tanques de almacenamiento. Con estos datos se determina las nuevas condiciones de Carga-Gasto-Tiempo de operación, que tendrá el equipo evaluado.

Esta medida debe ir en combinación con la medida de sustitución de conjunto bomba-motor, para mejores resultados.

#### **8) Mejorar el Mantenimiento**

Como parte del plan de ahorro de energía, se debe recomendar la implementación de un programa de mantenimiento predictivo y preventivo en caso de que la empresa lo tenga. Dentro de los principales beneficios que se obtienen con un buen programa de mantenimiento a las instalaciones, se tienen:

- Mayor disponibilidad del equipo.
- Mayor capacidad de bombeo.
- Mayor confiabilidad en el equipo.
- Operación mejor planeada y más eficiente.
- Mejor servicio a la población.
- Menor estrés del personal.
- Disminución de costos de operación y administración.
- Incremento de la vida útil de los equipos.

- Disminución de los requerimientos de inversión.
- Ahorro de energía.
- Ahorro económico.

Es por esto que se sugiere se implemente un programa continuo de mantenimiento de instalaciones.

### **9) Analizar otras fuentes de Suministro de Energía Eléctrica**

En los sistemas de agua potable hay un buen número de sistemas y subsistemas que pueden utilizar la energía solar, algunos ejemplos son:

- Sistemas de cierre automático de válvulas, tanques y válvulas de control.
- Monitoreo de presiones y calidad del agua.
- Bombeo en pequeños sistemas de agua potable, estos pueden ser empleados en zonas rurales donde no hay suficiente presión para el suministro de la red de agua potable o zonas alejadas de la red de energía eléctrica.

La generación de energía eólica, en forma complementaria a la realizada por el tendido de la red eléctrica existente, permite resolver los problemas de abastecimiento y seguridad de energía de agua potable en comunidades rurales con efectos económicos inferiores a las de un sistema convencional.

Una solución energética híbrida con un arreglo eólico y respaldo con máquinas diesel en proyectos de agua potable rural es altamente atractiva y costo-efectiva, dado que son tecnologías complementarias, permitiendo así no sólo reducir costos, sino también aumentar la seguridad del sistema, dado que:

- La energía eólica tiene costos de mantenimiento muy pequeños, lo que hace que los costos de producción de agua disminuya considerablemente.
- Muchos sistemas que se encuentran actualmente en funcionamiento, cuentan con sistemas que incluyen grandes gastos en consumo de energía eléctrica, y podrían cubrir parte de sus necesidades energéticas con energía eólica, por lo que sería muy fácil y económico implementar un sistema híbrido en sus instalaciones, lo que les permitiría disminuir sus costos de producción.

Para implementar un sistema de generación eólica se requiere seleccionar un sitio con alto potencial y desarrollar registros confiables de velocidades de vientos, que permitan evaluar adecuadamente el recurso eólico y la potencia eólica a instalar. La elección de un buen sitio de potencial eólico, permite disminuir el tamaño del molino de viento y con esto los costos iniciales que son los más importantes en un proyecto de este tipo.

En los sistemas de agua potable se puede obtener energía a partir de los lodos de las centrales depuradoras y potabilizadoras de agua, energía que también es contaminante, pero que también lo sería en gran medida si no se aprovechará, pues los procesos de descomposición de la materia orgánica se realizan con emisión de metano y de dióxido de carbono.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

La implementación de un sistema de biodigestores para la descontaminación (productiva) de aguas servidas con generación de biogás, y la posterior generación de energía eléctrica, es un proceso en donde se obtiene un doble resultado:

- la descontaminación de las aguas residuales, logrando cumplir y superar la normativa vigente, y además.
- la obtención del biogás como subproducto.

Este biogás puede utilizarse para la generación de energía eléctrica y/o térmica y permite aprovechar las excretas y materiales orgánicos. La energía eléctrica puede generarse mediante el uso de un motor de combustión interna y su propio generador.

### **3.7 Proyecto de Eficiencia Hidráulica (PEH)**

El proyecto de eficiencia hidráulica tiene como objetivo, realizar una redistribución de presiones y caudales en la red de distribución de un sistema de abastecimiento de agua potable, para optimizar su funcionamiento y ahorrar agua; facilitar las labores de mantenimiento y control de fugas; aprovechar las oportunidades de ahorro de energía; y ampliar la cobertura del servicio.

La característica principal de un proyecto de eficiencia hidráulica, a diferencia de un proyecto tradicional hidráulico, es la de lograr este objetivo, utilizando los mismos recursos que se aplica actualmente.

El diseño de la red en sectores es un esquema que permite alcanzar este objetivo, con cierta rentabilidad y relativa rapidez, pero esta sectorización deberá estar conformada con base en un análisis hidráulico de alto nivel, aplicando simuladores hidráulicos de redes de agua potable, utilizando tecnología punta sobre sistemas de control automático y medición. Actualmente, es común manejar indistintamente la sectorización de redes y los distritos hidrométricos, sin embargo, no es lo mismo. De hecho un sector puede contener varios distritos hidrométricos dentro de su área.

Los distritos hidrométricos son elementos que se aíslan hidráulicamente con movimientos de válvulas en forma temporal, para realizar pruebas de consumos, detectar de fugas y evaluar eficiencia física. Su diseño se basa en especificaciones concretas, para que las prueba en campo resulte confiable; así por ejemplo, se maneja un número de usuarios, con la idea de que en la medición de los caudales registrados en la entrada del distrito no se tengan errores significativos; o bien, el distrito puede tener una o varias entradas o salidas, y puede estar abasteciendo a otros distritos, puesto que no se altera de ningún modo la prueba en turno, etc.

En cambio la sectorización de redes agua potable, tiene otra connotación en su diseño, ya que se trata de formar elementos separados físicamente unos de otros, interconectados hidráulicamente solo mediante líneas de conducción o circuitos primarios de la red que entreguen el agua en bloque. Así, el diseño de cada sector obedece más a la topografía de la ciudad; a la ubicación y capacidad hidráulica de las captaciones, rebombes, tanques, conducciones y tuberías; a los valores de demanda de agua de los usuarios; y no a simples especificaciones de dibujo. Los sectores deben analizarse y diseñarse hidráulicamente en forma

integrada, considerando el mínimo de cortes, conexiones, movimientos de válvulas, instalaciones de tuberías. Los sectores tienen forma irregular y el número de usuarios dentro de él depende de la disponibilidad del agua y de la infraestructura existente.

Es por esto que para realizar un Proyecto de Eficiencia Hidráulica en forma eficaz deberán analizarse las distintas componentes, comenzando con la capacidad de producción en las fuentes, la evaluación de eficiencia física para verificar los niveles de agua no contabilizada y determinar una dotación adecuada, la distribución especial del servicio y un análisis de funcionamiento hidráulico de la red, los cuales que influyen en la distribución del servicio. A manera de esquema, en la Figura 28 se muestran las componentes de análisis que conforman un proyecto de eficiencia hidráulica.

**Figura 28. Componentes de análisis para un proyecto de eficiencia hidráulica**



Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

El análisis de producción de las fuentes deriva en tomar las decisiones adecuadas para asegurar el abastecimiento, cuidar la capacidad de producción y establecer soluciones que permitan el uso sustentable del agua en el largo plazo.

Si las fuentes no tienen la capacidad de abastecimiento requerida en el largo plazo, se deberán tomar en cuenta zonas de influencia de menor demanda o en su caso el uso de fuentes alternas de producción para abastecer alguna zona en particular.

### 3.7.1 Especificaciones para equipos de bombeo

Esta sección se enfoca en aspectos como el suministro, instalación, la puesta en marcha y la adecuada instalación de los equipos de bombeo. Las recomendaciones y sugerencias que se presentan no pretenden ser exhaustivas, y deben entenderse únicamente como ejemplos de las medidas que pueden tomar los organismos operadores para incrementar la eficiencia del sistema, y facilitar la adquisición, instalación y operación de los equipos correspondientes.

#### A. Documentación

El proveedor debería hacerse responsable de que los equipos que entregue cumplan con los requerimientos solicitados y deberá proporcionar todos los documentos, instructivos, manuales y certificados que se describen en la presente especificación técnica, para la correcta instalación del equipo en el lugar.

#### B. Lineamientos sugeridos para el proveedor

Los proveedores de equipos también desempeñan un papel importante para que el proceso de instalación pueda llevarse a cabo de forma eficiente. Se recomienda a los proveedores atender los siguientes aspectos en su interacción con organismos operadores.

- El material o equipo dañado por descuido del proveedor en su embarque o por su colocación defectuosa sobre los vehículos del embarque, será reemplazado por éste, *sin cargo al organismo operador*.
- El organismo operador podrá solicitar el acceso a las instalaciones del proveedor con el propósito de inspeccionar el material y la mano de obra durante la fabricación, y cuando ésta se haya completado.
- El proveedor debería contar con pruebas de laboratorio de los equipos suministrados donde se pueda demostrar al organismo operador la calidad de los materiales usados, su ajuste a las normas y códigos que corresponden, así como a las condiciones de operación especificadas.
- La precisión dimensional, materiales de construcción, soldaduras y partes mecánicas de suministro, podrán ser inspeccionadas por el organismo operador, sin que esto evite responsabilidad del fabricante por fallas ocultas o errores de fabricación.
- El organismo operador se reserva el derecho de rechazar y solicitar al proveedor que reemplace o reconstruya el equipo que se considere defectuoso.
- El proveedor suministrará por escrito al organismo operador para cada uno de los equipos los siguientes documentos: un certificado de la calidad que ampare al equipo y a los materiales usados en la fabricación de los mismos; los informes de pruebas de laboratorio realizadas; la lista de revisión; y las curvas características.
- Todas las pruebas y demostraciones de funcionamiento deberán ser a satisfacción del organismo.
- Antes del embarque del equipo, el personal del organismo operador podrá inspeccionar y aprobar el mismo.

### **C. Especificaciones de los equipos**

El proveedor debería suministrar en el sitio designado por el organismo operador el equipo con las especificaciones solicitadas, para lo cual el organismo operador deberá detallar claramente las características de los equipos de acuerdo al PEEI.

### **D. Instalación de equipos**

Se recomienda al proveedor asegurar la correcta instalación del equipo tomando en cuenta lo siguiente:

- Mano de obra y puesta en operación, para extracción de equipo de bombeo, empleando grúa proporcionada por el contratista.
- Mano de obra de desensamble de tubería de pozo profundo hasta la extracción y retiro del equipo motor bomba de acuerdo a los siguientes diámetros y longitudes de columna de succión.
- Limpieza de tubería y aplicación de pintura anticorrosiva a prueba de agua; revisión de roscas en tubería y coples.
- Sondeo de verticalidad del pozo y video.
- Instalación de equipo nuevo de motor bomba proporcionado por el contratista de acuerdo al punto C del presente documento.
- Reinstalación de la columna de tubería tanto para el equipo tipo turbina vertical como del equipo sumergible, introduciendo tubería para sonda neumática, con abrazaderas a la misma.
- Instalación completa de los equipos de acuerdo a su tipo. En equipos verticales incluye la prueba de verticalidad e instalación de la flecha.
- Nivelación de tubería en el soporte.
- Se deberá colocar una placa con inscripción indeleble en el brocal del pozo donde se indique la longitud total de la columna de succión, y la longitud total de la sonda neumática desde la punta hasta la altura donde se coloque el manómetro.
- La verificación de las conexiones eléctricas del motor sumergible, incluyendo las canalizaciones para los conductores desde el brocal hasta el tablero del centro de control de motores, calibración o sustitución, de ser el caso, del arrancador y de acuerdo a la capacidad del motor instalado y llevando cable desnudo de puesta a tierra por la canalización desde el tablero de control hasta la conexión con el motor.
- Puesta en marcha y pruebas de operación del equipo instalado asegurando el gasto-carga y eficiencia electromecánica descritos en el punto C.

Adicionalmente a lo aquí señalado se recomienda aplicar las especificaciones del libro “*Instalación de Equipo Electromecánico*” del “*Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*” (MAPAS) editado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

#### **E. Adecuación de Instalaciones**

Para la adecuación de las instalaciones eléctricas el contratista deberá considerar los materiales, mano de obra e instalación de los siguientes trabajos.

- Conexión de puesta a tierra de tubería de columna, tren de descarga y tableros del centro de control de motores por medio de conductor desnudo de cobre calibre mínimo de 4 AWG, interconectando con la red de tierras.
- Suministro e instalación de conductor de cobre desnudo cal. 2, con un conector soldable en frío más un conector mecánico para cobre cal. 2, para la conexión del X0 del transformador a tierra.
- Suministro e instalación de conductor de cobre desnudo calibre mínimo 2 AWG que deberá ser llevado por la canalización en paralelo con los conductores de fase de la conexión del transformador al interruptor principal.
- Mano de obra para limpieza de tableros de control mediante sacudida de polvo acumulado, limpieza de terminales con limpiador dieléctrico, limpieza de contactos y reacondicionamiento de cableado, considerando la apertura de la alimentación eléctrica, la realización de la limpieza y reconexión del circuito.
- Suministro e instalación de complemento de canalización eléctrica donde sea necesario incluyendo los siguientes materiales: tubo *conduit* metálico pared gruesa galvanizado, mufa terminal, tubo zapa, conectores para zapa, con monitor y contra; cubriendo con una tapa de lámina la salida del transformador atornillada, conductor de cobre desnudo cal. 2.
- Suministro e instalación de interruptor termomagnético marca Siemens o similar de las capacidades respectivas a los equipos a instalar.
- La calibración de los elementos térmicos de acuerdo a la capacidad de los motores.

#### **F. Garantías**

Los equipos comprendidos en las especificaciones del punto C, quedarán garantizados contra defectos de diseño o de montaje por un periodo mínimo de 12 meses a partir de su puesta en operación. Toda modificación que se requiera para un funcionamiento correcto o para eliminar defectos que aparezcan en la operación, deberán ser efectuados por el proveedor a más tardar en 72 horas a partir del momento en que se comunica esta acción. En estos casos la modificación será a cargo del proveedor.

## **G. Responsabilidades del proveedor**

El proveedor proporcionará toda la información para el buen funcionamiento del equipo y sus partes y componentes, así como las curvas de operación, catálogos y arreglo del equipo descrito en el inciso C, así como de la garantía de operación y de vida útil de los equipos.

Se espera que el proveedor idealmente proporcione un programa de entrega con lo siguiente:

- Dibujos del equipo con sus listas de partes, catálogos y arreglos del equipo.
- Programa de fabricación y embarque de los equipos.
- Cotización de refacciones de un año para partes adicionales, y dos años para las partes de importación.
- Manuales para instalación, operación y mantenimiento de los equipos.
- Tiempo de entrega total del equipo, y programa de entregas parciales, si son requeridas.
- Video de inspección de pozos.

Es conveniente que los organismos operadores elaboren especificaciones técnicas claras para asegurar la correcta ejecución de los trabajos de implementación de las medidas descritas en el Proyecto de Eficiencia Energética Integral.

### **3.7.2 Metodología para la puesta en marcha de sectores hidráulicos**

La implementación y puesta en marcha de un proyecto de sectorización requiere procedimientos técnicos y logística de actividades que implican un alto nivel de ingeniería aplicada. Por esta razón se presentan estrategias generales para la puesta en marcha de la sectorización, las cuales se desarrollan a continuación.

#### ***Programa de construcción, instrumentación y saturación de sectores***

En primer lugar se deberá recopilar, catalogar y cotizar todos los trabajos requeridos para la completa implementación del proyecto de eficiencia. Las categorías para su implementación y el orden para su ejecución son:

- Construcción de sectores hidráulicos.
- Modificaciones en la red para el aislamiento de sectores y conducciones.
- Prueba de cierre.
- Instrumentación de sectores hidráulicos.
- Suministro e instalación de válvulas de control automático.
- Suministro e instalación de equipos de bombeo.

- Suministro e instalación de equipos de mejora energética.
- Saturación y puesta en marcha de sectores.
- Aislamiento definitivo de sectores.
- Saturación de sectores y subsectores.
- Implementación de programas de control de pérdidas.

Para cada una de las categorías deberá de definirse su costo total, tiempo de entrega (en los conceptos que aplique) y tiempo de instalación o construcción. Se deberá de tomar en cuenta también los tiempos de licitación y adjudicación de obra en aquellos conceptos que apliquen estas características. El principal factor que determina la programación e implementación del proyecto es la capacidad del OO para disponer de los recursos económicos, así como para su erogación. Esta capacidad definirá si la implementación se realizará de manera lineal, sector por sector, o de manera paralela, implementando varios sectores a la vez. La elección del orden en que cada sector se implementará, depende de diferentes variables que el OO debe valorar y jerarquizar. Las variables principales son:

- Inversión requerida para la puesta en marcha de cada sector.
- Porcentaje de población beneficiada por la puesta en marcha.
- Potencial de ahorro energético obtenido por la puesta en marcha.
- Tiempo requerido para la implementación y puesta en marcha.

Una vez definido el orden de implementación de sectores, se utilizará el método de diagrama de flechas, con base en las características de cada categoría definida anteriormente, para la obtención de la ruta crítica de implementación del proyecto (Figura 29). En el diagrama de flechas se establece el orden y secuencia en que las actividades deberán de realizarse, así como fechas de inicio y término más próximo. El diagrama de flechas deberá de tomarse como guía para la implementación y deberá de actualizarse y modificarse de acuerdo a los resultados e imprevistos que se presenten.

A partir del diagrama de flechas se deberá de realizar un calendario de actividades, en el cual se deberá de identificar los periodos en los que zonas específicas de la red podrían quedarse sin servicio debido a las pruebas de aislamiento. Con esta información se programará avisos oportunos a los usuarios para que puedan tomar previsiones. La ruta crítica de un proyecto es un método para la planificación y gestión que pone más énfasis en los recursos (físico y humano) necesarios, con el fin de ejecutar las tareas del proyecto de eficiencia energética integral. Para esto se identifican las restricciones para la ejecución del proyecto, como son los recursos.

Para trabajar dentro de las limitaciones, las tareas de la cadena crítica tienen prioridad sobre todas las demás actividades. Finalmente, los proyectos se planifican y administran para garantizar que los recursos estén listos cuando deben comenzar las tareas de la cadena crítica, subordinar todos los demás recursos a las actividades críticas.



Figura 30. Trabajos de aislamiento de sectores

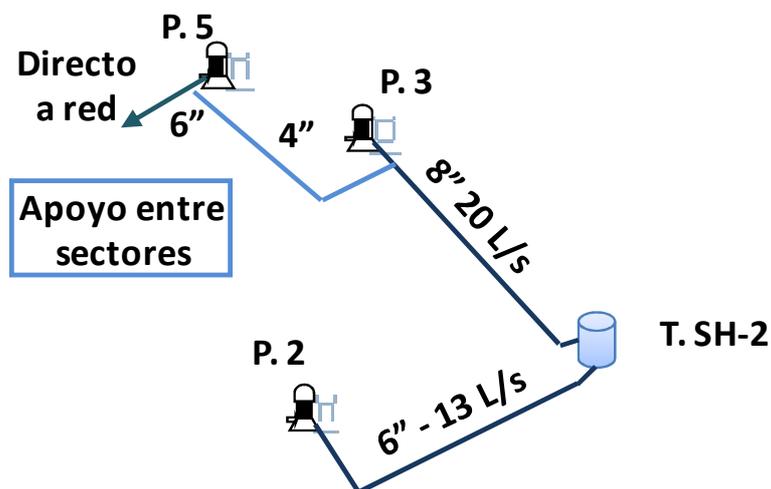


Fuente: Watergy México, A.C.

### Cortes y modificaciones de cruceros para el aislamiento de sectores

En este concepto se incluyen todos los trabajos relacionados con el establecimiento físico de los límites de sectores. Se recomienda realizar cortes definitivos en la red (Figura 30) para los trabajos de aislamiento, ya que se ha observado que la instalación y cierre de válvulas para el aislamiento definitivo de sectores, genera la posibilidad de que se pierda el control del aislamiento de los mismos, derivando en su mal funcionamiento.

Figura 31. El apoyo entre sectores debe planearse a través de la entrega de agua en bloque



Fuente: Elaboración del autor.<sup>4</sup>

Las preparaciones para el apoyo entre sectores para resolver eventualidades deberán de proyectarse en el Esquema de entrega de agua en bloque. Deberá evitarse en la medida de lo posible que se hagan conexiones entre las redes de distribución de los sectores (Figura 31).

### **Cortes y modificaciones de líneas para el aislamiento de conducciones**

Cuando un sistema de conducción funciona directo entre la fuente y un tanque es necesario eliminar todas las tomas y derivaciones en ruta que existan en la conducción, ya que estas generan una pérdida importante de carga que podría disminuir o incluso impedir que el tanque reciba el gasto proyectado. Los trabajos relacionados a este concepto se deben realizar antes de la instalación de nuevos equipos de bombeo, ya que debido a las tomas en ruta el equipo podría trabajar fuera de su rango de funcionamiento eficiente y no cumplir con el gasto requerido.

### **Instalación de tubería nueva para el correcto funcionamiento de sectores**

Los trabajos relacionados con este concepto tienden a ser numerosos y laboriosos que los anteriores. Por esta razón se recomienda manejarlos como una partida independiente a los cortes y aislamientos, con su propio frente de trabajo. Dentro del catálogo de este concepto se deben identificar aquellas tuberías que son indispensables para cubrir zonas que pueden quedar sin alimentación debido a los trabajos de aislamiento. La instalación de estas tuberías deberá de realizarse anterior a los cortes definitivos.

### **Construcción y rehabilitación de infraestructura (tanques, rebombes, cajas de válvulas)**

En este concepto se incluyen los trabajos de obra civil y fontanería general para el uso de infraestructura nueva o existente, como pueden ser tanques reguladores, cajas rompedoras de presión, rebombes y cajas para la instalación de válvulas de control automático. Debido a la larga duración de la obra civil, el inicio y fin de estos trabajos deberán de programarse con suficiente holgura para evitar que retrasen la instalación de equipos electromecánicos, válvulas, o incluso la puesta en marcha del sector.

### **Instrumentación de sectores hidráulicos**

La instalación de los equipos de bombeo, válvulas automáticas y equipo de mejora energética debe de ser programada para realizarse cuando los trabajos de obra civil y fontanería de la construcción de sectores se encuentren terminados. Para este efecto es necesario tomar en cuenta los tiempos de entrega de cada uno de los equipos para evitar el retraso de la puesta en marcha de los sectores. Para las válvulas de control automático que se instalen sobre calles o avenidas de manera subterránea o en predios que no pertenezcan al organismo operador, deberá construirse una caja de válvulas con espacio suficiente que permita su operación y toma de datos para su calibración. Para permitir el mantenimiento de las válvulas, se recomienda el uso de by-pass para permitir el acceso de flujo a la zona en caso de eventualidades o mantenimiento (Figura 32).

Todos los trabajos aquí descritos deberán ser tomados en cuenta al realizar el plan de implementación a mediano plazo en la construcción de sectores hidráulicos dentro del Proyecto de Eficiencia Hidráulica.

**Figura 32. Uso de By-pass en la instalación de válvulas de control automático**



Fuente: Watergy México, A.C.

Este proyecto incluye varios componentes o subproyectos que son:

### **I. Análisis de disponibilidad de agua en fuentes**

Se realiza el análisis de los datos obtenidos al construir las curvas de aforo de los pozos, el análisis de su comportamiento. Este análisis es de suma importancia ya que con este se determina la capacidad de producción de las fuentes de abastecimiento que deberá ser tomado en cuenta para determinar las zonas de influencia que deberán ser abastecidas por las fuentes. El resultado de este análisis deberá ser incluido en el estudio del balance volumétrico.

### **II. Balance de Agua y evaluación de disponibilidad en las redes**

Con base en la información estadística obtenida en las etapas anteriores, y corregida con los resultados de las campañas de medición, se aplica el balance de agua, con el fin de estimar el nivel de fugas del sistema. En general, este estudio se realiza para un periodo de un año histórico y de acuerdo con los estándares internacionales, adaptados a las condiciones de los sistemas de agua potable mexicanos.

Al conocer el nivel de fugas, se puede entonces determinar la oportunidad de ahorro de agua, energía y calcular la disponibilidad de agua en el proyecto de eficiencia hidráulica.

Después de aplicar el balance de agua, se evalúa el valor de la dotación actual. La experiencia demuestra que en los sistemas de agua potable en nuestro país, las dotaciones en general son elevadas debido al alto porcentaje de fugas existente. Ante esta situación, en los proyectos de eficiencia hidráulica planteados en este Manual, se considera reducir las fugas a un nivel aceptable del 20%, como medida de conservación del agua de la región y ahorro de energía por bombeo.

### III. Diagnóstico del Balance volumétrico

En este subproyecto se elabora un balance volumétrico en la red de distribución con el fin de evaluar el equilibrio que existe en cada zona de influencia hidráulica entre el gasto disponible en la misma y el consumo demandado por la población. Esta evaluación es la base para elaborar posteriormente el esquema de redistribución de caudales y presiones de la red, o de sectorización, puesto que se identifican las áreas de la población que no tienen suficiente agua, aquellas a las que les sobra agua, la infraestructura desaprovechada y las capacidades de suministro, conducción y regularización del agua disponible, entre otras.

Para la realización del Balance Volumétrico es necesario determinar la población del proyecto y con ella tomando en cuenta la capacidad de las fuentes de abastecimiento, establecer una dotación de diseño.

Con los datos de dotación a partir del Balance Volumétrico actual se realiza la redistribución de caudales proponiendo sectores hidráulicos que suplirán las zonas de servicio actuales. El proceso es iterativo. Para comenzar es necesario proponer una sectorización y evaluar su balance volumétrico. La primera sectorización será propuesta de la siguiente manera:

- i. Se propone un sector identificando la fuente de distribución principal (nombre del tanque o del pozo que inyecta a la red).
- ii. Se identifica la fuente o fuentes de abastecimiento (pozos, manantiales, presas, etc.) que inyectan al tanque o directamente a la red.
- iii. Utilizando el mismo criterio que en el balance volumétrico, se determina el gasto disponible para el sector propuesto.
- iv. Se proponen las colonias, o zonas identificadas de población, que serán abastecidas en este sector.
- v. Se ingresa el número de usuarios domésticos de cada colonia propuesta para el sector.
- vi. Se calculan los habitantes en cada colonia o zona de población multiplicando sus usuarios por el índice de hacinamiento.
- vii. Se calcula el gasto medio demandado por los habitantes utilizando la dotación de proyecto.
- viii. Se calcula la suma de los gastos medios de cada colonia o zona de población propuesta para el sector.
- ix. Se especifica el tipo de distribución que tendrá el sector. Puede ser a través de un tanque regulador (regulada), inyección directa a red desde la fuente de abastecimiento (directa) o mixta.
- x. Se calcula el gasto máximo que requerirá la población durante los meses más calurosos del año, tomando en cuenta su tipo de distribución.

Si existe un desequilibrio negativo en el sector se deberá disminuir el número de usuarios servidos o agregar alguna fuente de abastecimiento para aumentar el gasto disponible. Cuando la diferencia sea positiva y relativamente cercana a cero, se prosigue a la definición del siguiente sector y se repiten los pasos arriba mencionados. Todas las colonias y zonas de población deben quedar dentro de algún sector. Si el último sector muestra una diferencia

negativa, los usuarios que se disminuyan de este sector o las fuentes que se agreguen para aumentar el gasto disponible pueden desequilibrar algún sector anterior, por lo que deberán de añadirse o sustraerse respectivamente a los sectores contiguos y calcular nuevamente sus características. La validez de los sectores alimentados por tanques reguladores depende de que estos últimos tengan capacidad suficiente para regular las variaciones horarias de la demanda.

Este proceso se debe repetir hasta que todos los sectores, así como el balance volumétrico de la sectorización propuesta, presenten una diferencia positiva y cercana a cero. Además, la operación propuesta de los sectores deberá de ser lo más sencilla posible y requerir un mínimo de infraestructura nueva.

#### **Consideraciones para la propuesta de sectores**

- Se recomienda que la propuesta inicial de sectorización se base en las zonas de servicio actuales, ajustando aquellas que se encuentren desequilibradas y respetando en la medida de lo posible la operación de las zonas equilibradas y con un buen funcionamiento en la actualidad.
- El tamaño de los sectores estará limitado únicamente por el gasto disponible de las fuentes de abastecimiento y de la capacidad de regulación de los tanques. No existe límite mínimo ni máximo preestablecido de número de usuarios, área o longitud de red.
- El uso de tanques reguladores para la distribución aumenta el número de usuarios que puede cubrir el gasto medio de una fuente, por lo que se recomienda su rehabilitación y puesta en marcha cuando estén fuera de servicio.
- Se recomienda evitar las inyecciones directas a red desde pozos. Si existe un tanque regulador cercano y con suficiente capacidad es preferible proponer la distribución a través del mismo.
- Es posible encontrar sectores que después de varias iteraciones no se puedan equilibrar debido a poco gasto disponible o una pequeña o nula capacidad de regulación del sector. En estos casos se puede justificar la proyección de infraestructura nueva, como la construcción de un tanque regulador o, en el peor de los casos, de una fuente de extracción de agua nueva.
- La capacidad de la red de distribución para cubrir las demandas, tanto de caudal como de presión en cada sector propuesto, debe ser evaluada en con un modelo de simulación. Si el resultado de esta evaluación indica que en algún sector la capacidad de la red es insuficiente, o que es muy complicada la regulación de presiones, se puede modificar la sectorización propuesta.
- La capacidad de las líneas de conducción primaria que entregan el agua en bloque a los sectores propuestos será analizada también con el modelo de simulación.

#### **IV. Análisis de la Operación Hidráulica (optimización en la distribución de caudales y presiones)**

Una vez realizada una redistribución equilibrada de volúmenes de agua en la red, en función de las demanda de los usuarios y considerando que se alcanza la dotación de diseño y delimitando los sectores hidráulicos, áreas de influencia de tanques y captaciones existentes. Se establecen los requerimientos de infraestructura adicional mínima o aquella que saldrá de operación por medio del Análisis de la Operación Hidráulica.

Para este análisis es necesario tener actualizado el catastro de la red, definiendo en forma específica los diámetros, tipos de tubería, infraestructura de tanques reguladores, localización de las fuentes, operación de tandeo y todos los elementos hidráulicos que influyen en la operación hidráulica.

Con todos estos elementos deberá conformarse un Modelo de Simulación Hidráulica. Un modelo de simulación de una red de abastecimiento es una representación del funcionamiento hidráulico del sistema de distribución de agua potable de una ciudad real (verificable con mediciones de parámetros físicos).

Una vez que se definen todas las actividades y la ruta crítica para las acciones, medidas y trabajos a realizar de acuerdo a la clasificación arriba mencionada, se debe implementar cada proyecto de acuerdo a el plan desarrollado, para lo cual será conveniente establecer una estructura organizacional dentro del Organismo Operador, como responsable de la administración y ejecución de dicho proyecto, para la vigilancia en la correcta ejecución de los trabajos y la verificación de los resultados obtenidos.

### **3.8 Proyecto de Eficiencia Energética Integral (PEEI)**

Hay una serie de enfoques para la gestión de las actividades para la implementación del PEEI, incluidos los criterios flexibles, interactivos, incrementales y graduales. Independientemente de la metodología empleada, debe prestarse especial atención a los objetivos generales del proyecto, línea de tiempo y costo, así como las funciones y responsabilidades de todos los participantes y las partes interesadas.

Con los cálculos y conclusiones obtenidos durante el Proyecto de Eficiencia Energética (Sección 3.5) y el Proyecto de Eficiencia Hidráulica (Sección 3.6), se realizan los siguientes procesos para elaborar e implementar el Proyecto de Eficiencia Energética Integral de un sistema de agua potable:

- Determinación de medidas de ahorro específicas a aplicar.
- Cálculo de ahorro de energía potencial para cada medida.
- Cálculos de ahorro económicos equivalentes.
- Estimación de la inversión y análisis costo beneficio de cada medida.
- Integración de una ficha de proyecto por cada medida y una tabla resumen general.
- Integrar un reporte de proyecto incluyendo un resumen ejecutivo describiendo brevemente la cartera de proyectos resultante.
- Entre las medidas de ahorro a evaluar se considerarán, al menos las áreas de oportunidad descritas anteriormente, y tomando en cuenta las medidas del Proyecto de Eficiencia Hidráulica.

Una vez calculados todos los ahorros, se procede a realizar un resumen de los ahorros de energía globales distinguiendo las medidas convencionales o de rápida implementación,

calculadas y las medidas resultantes de la operación hidráulica. El formato sugerido para concentrar y mostrar los potenciales de ahorro de energía se presenta en la Tabla 40.

Los principales datos a llenar son los siguientes:

- Ahorros de energía y facturación anuales para cada medida de ahorro que resulta de la sumatoria de ahorros tanto energéticos como económicos de todos los equipos o sistemas de bombeo donde aplica cada medida.
- Porcentaje de ahorro por tipo de medida a efectuar. Se calcula dividiendo el ahorro de cada medida entre el consumo y costo energético anual actual.

**Tabla 40. Formato de resumen de ahorros de energía derivados del proyecto integral**

Medida de ahorro		Ahorros (1)		% (2)	Inversión (\$) (3)	Pay-back (años) (4)
Tipo	Descripción	Energía (kWh/año)	Facturación (\$/año)			
<b>Medidas convencionales</b>	Optimización de eficiencia electromecánica vía sustitución de equipos de bombeo					
	Optimización de factor de potencia					
	Adecuación de tarifas					
	Ahorro de energía por optimización de las conducciones					
	Otras medidas					
	<b>Total medidas convencionales</b>					
<b>Optimización de la operación hidráulica</b>	Paro de equipos en hora punta					
	Equipos fuera de operación					
	Equipos que modifican su operación					
	Instalación de variadores de velocidad					
	Otras medidas					
	<b>Total medidas implementadas</b>					
<b>TOTALES (5):</b>						

Fuente: Elaboración del autor.

- Se calcula el costo de inversión total para cada medida.
- Se estima el tiempo simple de retorno de la inversión (*pay-back*) dividiendo el valor de la inversión entre el ahorro económico anual (años).
- Los totales de ahorro y porcentaje se obtienen con la sumatoria de todas las medidas y se puede realizar una sumatoria por tipo de medidas para distinguir el ahorro de energía potencializado con medidas de ahorro de energía resultantes de la operación hidráulica.

El paso final es el de preparar un reporte que contenga las observaciones y conclusiones del Proyecto de Eficiencia Integral, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

Un buen reporte deberá contener la información que se detalla a continuación:

## Resumen ejecutivo

El propósito del resumen es el de permitir a la alta gerencia del OO, el obtener en forma breve todos los resultados importantes, y entender de inmediato los resultados del diagnóstico, así como los costos y beneficios de las recomendaciones. Este resumen no deberá de sobrepasar cuatro cuartillas.

Esta sección debe incluir una tabla resumen de ahorros de energía globales distinguiendo las medidas convencionales o de rápida implementación, y las medidas resultantes de la operación hidráulica.

Los principales datos a integrar en dicha tabla resumen son los siguientes:

- Ahorros de energía y facturación anuales para cada medida de ahorro que resulta de la sumatoria de ahorros tanto energéticos como económicos de todos los equipos o sistemas de bombeo donde aplica cada medida.
- % de ahorro por medida. Se calcula dividiendo el ahorro por cada medida entre el consumo y costo energético anual actual.
- Costo de inversión total para cada medida.
- Rentabilidad de las inversiones a realizar al menos por el método de tiempo simple de retorno de la inversión (*pay-back*) dividiendo el valor de la inversión entre el ahorro económico anual (años).
- Los totales de ahorro tanto de energía, económicos y porcentajes de ahorro que se obtienen con la sumatoria de todas las medidas y se puede realizar una sumatoria por tipo de medidas para distinguir el ahorro de energía potencializado con medidas de ahorro de energía resultantes de la operación hidráulica.

## Descripción de las instalaciones evaluadas

Este capítulo sirve como un marco de referencia de la situación del OO en el momento en que se hizo el diagnóstico. Éste deberá contener un resumen de datos básicos de las instalaciones en forma concisa y directa. La información de base que deberá estar en estas páginas incluye la siguiente:

- Datos generales de las instalaciones eléctricas.
- Descripción general del sistema de producción y distribución de agua potable y saneamiento.

## Análisis de consumos energéticos

En este capítulo se presentan los datos recopilados y analizados con referencia al consumo energético del OO. La descripción de la situación energética deberá de venir acompañada por las siguientes cifras:

- Consumos energéticos anuales; incluyendo demanda eléctrica máxima de todos los servicios eléctricos contratados por el organismo.
- Costos de combustibles y tarifas eléctricas aplicables.
- Balance energético global del Organismo Operador.
- Variaciones mensuales de consumo de energía y producción.

Deberá contener una discusión de los principales índices energéticos que apliquen.

### **Recomendaciones y medidas de ahorro**

La primera parte de éste capítulo describe la situación encontrada en los sistemas electromecánicos del organismo y las observaciones del equipo auditor. Se presenta aquí una apreciación general de la situación general del estado de las instalaciones, incluyendo el estado del equipo y el estado de mantenimiento.

En la segunda parte se presentan las oportunidades de ahorro. Cada una de las cuales deberá venir con los siguientes incisos:

- **Recomendación:** una presentación clara y concisa de las acciones a tomar para poder lograr los ahorros esperados.
- **Estimación de Ahorro:** presentación de las suposiciones y los cálculos que se hicieron para llegar al ahorro estimado de la recomendación.
- **Estimación de Inversión:** explicación de las suposiciones y los cálculos que se hicieron para llegar a la inversión requerida para realizar la recomendación.
- **Análisis Financiero:** donde se determine la rentabilidad económica del proyecto. Como mínimo por el método del el Período de Recuperación de la Inversión y de ser necesario, usando los métodos del Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Como resultado del Informe Final del Proyecto de Eficiencia Integral se determina un **Programa de Trabajo para implementar las medidas a corto, mediano y largo plazo** de acuerdo a lo siguiente.

Se realizará un Plan de Acción general clasificando las medidas de acuerdo al tiempo de implementación y a la tasa de retorno de la inversión, añadiendo el recurso de inversión necesario así como la programación de dicho recurso. Se recomienda clasificar las tareas y medidas de ahorro en los siguientes rubros:

- **Acciones obligatorias de baja o nula inversión a corto plazo.** Estas acciones y medidas generalmente se refieren o están relacionadas con la adecuación de las instalaciones eléctricas, o mantenimientos correctivos a instalaciones electromecánicas que son de obligada ejecución para evitar accidentes o fallas que podrían dañar a los equipos de bombeo o poner en riesgo al personal que las opera.
- **Proyectos de baja, o nula inversiones de corto plazo.** Son el conjunto de medidas que se pueden implementar en un corto plazo y que no requieren inversión alguna,

generalmente están relacionadas con mantenimiento a las instalaciones eléctricas y mecánicas, como son modificaciones a los TAP's de los transformadores para incremento de voltaje, mantenimiento de motores, cambio de impulsores, ajuste de terminales eléctricas, entre otras.

- **Proyectos de Inversión a Corto Plazo.** Estos proyectos generalmente se refiere a la compra e instalación o sustitución de equipo ya sea bomba, motor o ambos, así como la conexión de bancos de capacitores para incrementar el Factor de Potencia. Estas medidas de sustitución de equipo no deben estar relacionadas con el proyecto de eficiencia hidráulica, es decir que los equipos que se incluyan en esta selección de proyectos a corto plazo, no deben estar condicionados en su operación Carga-Gasto con las modificaciones a la red de distribución producto del Proyecto de Eficiencia Hidráulica.
- **Proyectos de Inversión a Mediano Plazo.** En esta clasificación se contempla las medidas derivadas de obras para modificar la configuración actual de la red de distribución, descritas en el proyecto de Eficiencia Hidráulica, así como la sustitución de equipo de bombeo necesario para cumplir con las condiciones de carga-gasto de acuerdo a dicho proyecto, y que los tiempos de ejecución no son mayores a 2 años. Generalmente se refieren a cortes o seccionamiento de tubería, construcción de cajas de válvulas, instalación de válvulas automáticas, sustitución de equipo de bombeo, sustitución de tubería en tramos cortos, construcción o ampliación de tanques de regulación, y otras medidas relacionadas. También se podrían clasificar en este rubro de acuerdo a un programa de construcción de sectores hidráulicos o priorizando los trabajos de acuerdo al criterio del Organismo Operador.
- **Proyectos de Inversión a Largo Plazo.** Estos proyectos son acciones y trabajos relacionados con el Proyecto de Eficiencia Hidráulica que requieren más de 2 años para su ejecución y que de acuerdo a un criterio de priorización pueden ser ejecutados en ese periodo de tiempo. Estos trabajos pudieran ser los mismos que los descritos a Mediano Plazo, pero que ha quedado en un nivel de prioridad bajo dentro del programa de construcción de sectores.

## Bibliografía

Para esta caracterización y debido a la complejidad para determinar el consumo energético real de los municipios para la prestación del servicio de agua potable a las poblaciones, y a la falta de información específica de las variables que lo determinan, se han tomado como base las principales fuentes oficiales de información, para que mediante el cruce estadístico de ésta, se pueda tener un acercamiento más preciso a los datos reales para el diagnóstico.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “Estadísticas del Agua en México”, Ediciones 2008, 2009 y 2010.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Folleto informativo del Programa de Mejoramiento de Eficiencias en Organismos Operadores (PROME) 2010. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Gerencia de Fortalecimiento de Organismos Operadores.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS): “Datos Básicos”, Diciembre de 2007.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). “Situación del Subsector Agua Potable y Saneamiento”, Ed. 2008 y 2009.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Tarifas promedio de energía eléctrica 2004-2010. URL: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). Proyección de la población de México 2005-2050 (niveles municipal y por localidad). URL: [www.conapo.gob.mx](http://www.conapo.gob.mx)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda 2005.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo Económico 2004, en el Sistema Automatizado de Información Censal SAIC 5.0.
- Manual de operación Byron Jackson (Libro de precios). Byron Jackson Company S.A., Pumps Incorporation 1966.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995: “Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación – Límites y método de prueba”. Diario Oficial de la Federación, 9 de noviembre de 1995.
- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE). Diario Oficial de la Federación, 27 de noviembre de 2009.
- Secretaría de Energía (SENER). “Prontuario Estadístico del Sector Energético”, Abril de 2011.
- Sistema de Información Energética del Sector Eléctrico Nacional (SIE). Ventas Internas de Energía Eléctrica por Tarifa y Usuarios de Energía Eléctrica por Tarifa, para Tarifa 6 “Bombeo de agua potable o negras, de servicio público”, 2010. URL: [sie.energia.gob.mx](http://sie.energia.gob.mx)